

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК [004.934+004.056.5]:811.411.21

КАВАН  
Джамаль Масуд

**ОБНАРУЖЕНИЕ И ПОДАВЛЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ  
УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

Минск 2012

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

**Научный руководитель** Давыдов Геннадий Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий научно-исследовательской лабораторией «Материалы и элементы электронной и сверхпроводниковой техники» научно-исследовательской части учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

**Официальные оппоненты:** Голенков Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»;

Комликов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, начальник отдела Научно-производственного республиканского унитарного предприятия «Научно-исследовательский Институт технической защиты информации»;

**Опонирующая организация:** Учреждение образования «Высший государственный колледж связи»

Защита состоится 29 ноября 2012 г. в 14.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.15.06 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.

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Защита речевой информации, циркулирующей в акустическом виде в выделенном помещении, в первую очередь определяется правильным выбором средств защиты и режимами их работы. Активные и пассивные средства защиты речевой информации должны быть так расположены и выполнены, чтобы исключить возможность распространения акустических колебаний, несущих речевую информацию, за пределы контролируемой зоны. Вместе с тем средства контроля защищенности речевой информации и методики его проведения должны обеспечивать с заданной степенью вероятности невозможность съема речевой информации за пределами контролируемой зоны. Решение указанных задач можно обеспечить лишь в полном комплексе проводимых мероприятий с обоснованием физических сопутствующих процессов и моделей, описывающих физические процессы в математическом виде.

### **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

**Связь работы с крупными научными программами (проектами), темами**

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы ГБЦ № 06-3106/3 «Методика и алгоритмы обработки зашумленных речевых сигналов» по составной части задания № 13 Государственной комплексной программы научных исследований на 2006–2010 гг. «Национальная безопасность Республики Беларусь», № ГР 20066753.

#### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является исследование механизмов образования акустических каналов утечки речевой информации, способов их выявления и подавления и создание на их основе методов и средств защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ литературных источников по механизмам образования акустических каналов утечки речевой информации, способах их выявления и подавления. Разработать модель акустического канала утечки речевой информации с описанием сопутствующих физических процессов для повышения защищенности помещений для переговоров.

2. Провести исследования вибраций ограждающих элементов конструкций, вызванных производственной деятельностью и являющихся маскирующими сигналами для речевых сигналов, распространяющихся по акустическим каналам.

3. Провести анализ и синтез антенной акустической решетки для выявления акустических каналов утечки речевой информации, разработать устройство для выявления акустических каналов и модернизировать устройство лазерного измерения вибраций.

4. Моделировать в программном пакете ANSYS методом конечных элементов ограждающие элементы конструкций помещений, провести модальный анализ собственных форм колебаний типовых ограждающих элементов строительных конструкций. Исследовать механизмы распространения речевых сигналов в акустических каналах утечки речевой информации.

5. Исследовать методы оценки разборчивости речи в акустических каналах утечки речевой информации с целью оценки степени защищенности речевой информации.

Объектом исследования являются акустические каналы утечки речевой информации. Предмет исследования – закономерности и кинетика физических процессов, протекающих в акустических каналах, средства и алгоритмы обнаружения и подавления акустических каналов утечки речевой информации.

### **Положения, выносимые на защиту**

1. Теоретическое и экспериментальное обоснование размещения акустических преобразователей на ограждающих строительных конструкциях, основанное на учете механизмов и процессов, происходящих при распространении в них речевой информации и включающая возбуждение колебаний ограждающих элементов конструкций на резонансных частотах, преобразование видов колебаний (продольных в изгибные), что позволяет обеспечить снижение разборчивости речи при возбуждении маскирующих помех шумового всплескового характера.

2. Экспериментально установленная нелинейность амплитудной характеристики механических колебаний, возбуждаемых источником звука в элементах ограждающих конструкций защищаемого помещения, что позволило уточнить расчетную методику оценки защищенности помещения и снизить уровень звуковых воздействий на 4 дБ.

3. Методика расчета акустических колебаний элементов ограждающих конструкций помещения, учитывающая конструктивные особенности, используемых типовых строительных конструкций, и обоснованно определять места размеще-

ния контрольных точек для измерения звукоизоляции, что позволило повысить достоверность оценки показателей защищенности речевой информации.

### **Личный вклад соискателя**

Лично автором разработана модель акустических каналов утечки речевой информации, включающая возбуждение колебаний ограждающих элементов конструкций на собственных частотах, преобразование видов колебаний, и механизмы снижения разборчивости речевой информации в акустических каналах. Создан ряд методик по учету особенностей распространения речевых сигналов в акустических каналах и выявлению этих каналов с помощью устройства с акустической антенной решеткой и модернизированного лазерного измерителя вибраций.

Разработана методика оценки разборчивости речи в акустических каналах утечки для систем защиты информации и осуществлено экспериментальное подтверждение разработанных методик.

Соавтором основных публикаций соискателя является научный руководитель, канд. техн. наук, доцент Г.В. Давыдов, который осуществлял определение целей и постановку задач исследования, выбор методов исследований, принимал участие в планировании работ и обсуждении результатов.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 17-м Международном конгрессе по звуку и вибрации (Каир, Египет, 2010 г.), VIII Международной научно-практической конференции «Управление информационными ресурсами» (Беларусь, Минск, 2011 г.), XIII, XIV, XVI Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Беларусь, Минск, 2008 г., 2009 г., 2011 г.), VII, VIII, IX, X Бело-русско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Беларусь, Минск, 2009 г., 2010 г., 2011 г., 2012 г.), 2-й Международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения» (Беларусь, Минск, 2009 г.), Международной научно-технической конференции, посвященная 45-летию МРТИ–БГУИР (Беларусь, Минск, 2009 г.), XVII Международной конференции «Комплексная защита информации» (Россия, Суздаль, 2012 г.).

## **Опубликованность результатов**

По результатам исследований, изложенных в диссертации, опубликована 21 работа, в том числе 6 статей в научных журналах, 9 статей в сборниках материалов международных научно-технических конференций и семинаров, 5 тезисов докладов на научных конференциях, получен 1 патент на полезную модель.

Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, составляет 3,6 авторских листа.

## **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка. В первой главе проведен анализ современных методов и средств защиты речевой информации от утечки по акустическим каналам. Во второй главе разработана модель акустического канала утечки речевой информации с физическим и математическим описанием всех сопутствующих процессов, предложена методика проведения эксперимента по исследованию передаточных характеристик модели и проведены экспериментальные исследования. В третьей главе рассматриваются вопросы синтеза акустических антенных решеток для поиска акустических каналов утечки речевой информации, созданию и совершенствованию устройств для бесконтактного измерения вибраций и определения направлений на источники акустических сигналов. В четвертой главе проведен модальный анализ ограждающих элементов конструкций с использованием метода конечных элементов и программного пакета ANSYS. Предложена методика оценки разборчивости речи по предельным состояниям и использования максимальных значений формант речи.

Общий объем диссертационной работы составляет 128 страниц, из которых 84 страницы текста, 46 рисунков на 21 странице, 9 таблиц на 8 страницах, библиографический список из 122 источников на 12 страницах, включая 21 публикацию автора, приложение на 3 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована необходимость проведения исследований по изучению механизмов образования акустических каналов утечки речевой информации, способов их выявления и подавления, а также мер по защите речевой информации и оценке защищенности речевой информации.

В первой главе приведен анализ литературных источников по видам каналов утечки речевой информации и средствам перехвата информации в акустических каналах. Проанализированы особенности речевых сигналов, связанные с их разборчивостью, способы защиты речевой информации и оценки ее защищенности.

Приводится классификация акустических каналов утечки речевой информации и дается их описание. Однако механизмы образования акустических каналов и сопутствующие физические процессы остались не разработанными, что не позволяет бы принять эффективные методы защиты речевой информации.

Во второй главе исследованы характеристики акустических каналов утечки речевой информации. Разработана модель утечки речевой информации по акустическому каналу в обобщенном виде с рассмотрением физических процессов и механизмов образования акустических каналов утечки речевой информации и их математическом описании. Модель акустических каналов утечки речевой информации в обобщенном виде включает возбуждение колебаний ограждающих элементов конструкций на собственных частотах, преобразование видов колебаний, и механизмы снижения разборчивости речевой информации в акустических каналах за счет наложения комбинированных маскирующих сигналов шумового характера и всплесковых сигналов. На рисунке 1 показана модель акустического канала утечки речевой информации.

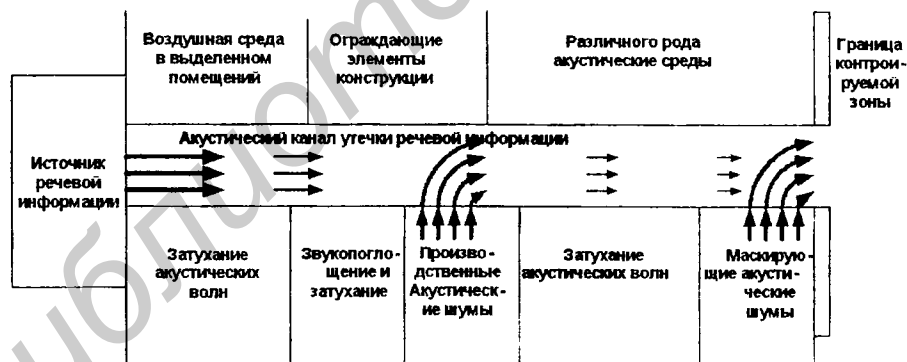


Рисунок 1 – Модель утечки речевой информации по акустическому каналу в обобщенном виде

Происходящие при этом процессы образования акустических каналов утечки речевой информации можно описать следующим образом. Акустическое поле, создаваемое человеком в результате речевой деятельности и несущее определен-

ную информацию, распространяется с определенным затуханием до ограждающих элементов конструкций помещения.

Воздействие акустического поля на ограждающие элементы конструкций характеризуется распределенной нагрузкой с разными фазовыми соотношениями для различных точек элементов ограждающих конструкций. В результате чего в ограждающих элементах конструкций возникают сложные волновые процессы различного характера (продольные, поперечные, поверхностные волны), при которых речевая информация переносится за пределы ограждающих конструкций в виде акустических полей. Следует отметить, что в ограждающих элементах конструкций имеют место и волновые процессы, связанные с производственной деятельностью (шумы оборудования, стуки и другого характера), на которые накладываются волновые процессы, связанные с переносом речевой информации.

В процессе распространения речевой информации по акустическому каналу утки амплитуды сигналов, осуществляющих ее перенос, уменьшаются из-за затухания акустических волн и звукопоглощения.

Из-за больших различий в волновых сопротивлениях (порядка 100 раз) акустической среды в помещении и ограждающих конструкций прохождение акустических волн в смежные помещения через стены, потолок и пол за счет механизма прямого преломления звука весьма незначительно. Механизм прохождения звука через граничную поверхность между двумя средами показан на рисунке 2.

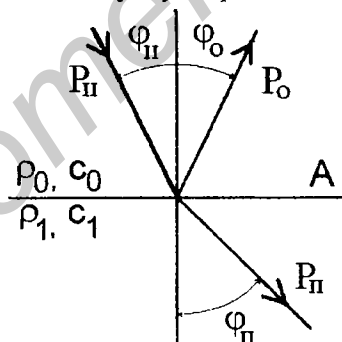


Рисунок 2 – Схема прохождения звука через граничную поверхность

Падающая звуковая волна с уровнем звукового давления  $P_{\text{п}}$  под углом  $\varphi_{\text{п}}$  частично отражается от плоской граничной поверхности A, разделяющей воздушную среду с удельной плотностью  $\rho_0$  и скоростью звука в ней  $c_0$  и твердым телом с удельной плотностью  $\rho_1$  и скоростью звука в ней  $c_1$ , и одновременно частично проходит через граничную поверхность.



Прохождение звука за счет преломления через граничную поверхность определяется ориентировочно по формуле, не учитывающей явлений реверберации и ограничение размеров элементов конструкций.

$$P_{\text{II}} = P_{\text{И}} \left\{ 1 - \frac{\left[ \rho_1 \cdot c_1 \left[ 1 - \left( \frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_{\text{И}} \right)^2 \right]^{-1/2} - \frac{\rho_0 \cdot c_0}{\cos \varphi_{\text{И}}} \right]^2}{\left[ \rho_1 \cdot c_1 \left[ 1 - \left( \frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_{\text{И}} \right)^2 \right]^{-1/2} + \frac{\rho_0 \cdot c_0}{\cos \varphi_{\text{И}}} \right]^2} \right\}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{II}}$  — звуковое давление в твердом теле.

Для оценки величины звукового давления за достаточно толстой разделяющей средой  $P_{\text{C}}$  (например стеной) без учета резонансных явлений и изгибных колебаний используются следующие соотношения:

$$P_{\text{C}} = P_{\text{И}} \frac{(Z_0^2 - Z_1^2) \cdot \sinh k}{(Z_0^2 + Z_1^2) \cdot \sinh k + 2jZ_0 \cdot Z_1 \cdot \cosh k}, \quad (2)$$

где  $Z_0 = \rho_0 \cdot c_0 / \cos \varphi_{\text{И}}$ ;

$$Z_1 = \rho_1 \cdot c_1 \left[ 1 - \left( \frac{c_0}{c_1} \cdot \sin \varphi_{\text{И}} \right)^2 \right]^{-1/2};$$

$$k = \frac{\omega}{c_1} \sqrt{1 - \left( \frac{c_0}{c_1} \sin \varphi_{\text{И}} \right)^2};$$

$j$  — мнимая единица;

$\omega$  — частота звуковой волны;

$h$  — толщина разделяющей среды.

Расчитанное значение звукового давления за счет преломления через железобетонную стену толщиной 200 мм и (при возбуждении звуковым давлением  $P_{\text{И}} = 70$  дБ) ориентировочно составляет  $P_{\text{C}} \approx 15$  дБ, а для гипсовой стены толщиной 100 мм  $P_{\text{C}} \approx 18$  дБ. Как видно из расчетов, за счет преломления звука через ограждающие конструкции уровни почти одинаковы. Эксперименты показывают существенное различие, которое достигает 20 дБ.

Основное прохождение звука через элементы ограждающих конструкций происходит не из-за явления преломления звука, а из-за более сложного механизма, связанного с возбуждением изгибных колебаний элементов ограждающих

конструкций с явно выраженными резонансными явлениями, что отражено на рисунке 3.

Звуковые волны, распространяясь от источника речевой информации, по достижении элементов ограждающих конструкций создают динамическое распределенное воздействие на них и вызывают изгибные колебания (так называемую структурную вибрацию). Звуковые волны в зависимости от расположения источника могут проходить к различным областям элементов ограждающих конструкций с различными фазовыми соотношениями, вызывая широкий диапазон собственных форм колебаний.

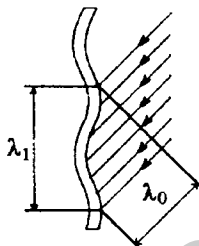


Рисунок 3 – Схема прохождения звуковых волн через ограждающие элементы конструкций

Исследованы экспериментально и выполнены расчеты форм колебаний ограждающих элементов конструкции. Показано, что основным механизмом прохождения акустических волн через ограждающие элементы конструкций помещений являются изгибные колебания ограждающих элементов конструкций. При этом имеет место возбуждение ряда собственных форм колебаний ограждающих элементов конструкций (резонансных колебаний). Первые десять форм собственных колебаний для элементов ограждающих конструкций в виде пластин (стены, перегородки) лежат в диапазоне частот от 50 до 8000 Гц. Основной формой колебаний являются изгибные колебания при распространении речевой информации по трубам отопления и водоснабжения.

Экспериментально установлено преобразование продольных волн при импульсном механическом воздействии на толстые стены порядка 1 м толщиной в изгибные колебания соприкасающихся с ними более тонких стен толщиной менее 0,5 м. Уровни ускорений вибраций, вызванных производственной деятельностью в средненаселенном районе города, достигают: для кирпичных стен 60 дБ в частотном диапазоне 160 – 800 Гц; для гипсоблочных перегородок – 70 дБ в частотном диапазоне 300 – 550 Гц; а для двухкамерных стеклопакетов – 80 дБ в частотном диапазоне 160 – 1000 Гц. В вышеуказанных диапазонах частот наблюдается спад уровней ускорений вибраций ограждающих элементов конструкций,

вызванных производственной деятельностью. Значения этих уровней вибраций являются маскирующими по отношению к уровням вибраций ограждающих элементов конструкций, вызванных речевой деятельностью в защищаемом помещении.

Установлено, что при увеличении уровня звукового давления акустического воздействия на гипсоблочную перегородку в диапазоне частот от 100 до 5000 Гц с 50 до 70 дБ и с 70 до 90 дБ имеет место нелинейность в увеличении ускорений вибраций перегородки на отдельных частотах до 4–8 дБ.

В третьей главе исследованы акустические антенные решетки для обнаружения каналов утечки речевой информации. Это поиск щелей и неплотностей в соприкасающихся элементах ограждающих конструкций с целью их устранения путем ремонтно-строительных операций. Акустические антенные решетки незаменимы и при определении максимальных значений вибраций на ограждающих элементах конструкций, по значениям которых необходимо вести оценку защищенности речевой информации.

На рисунке 4 показана диаграмма направленности разработанной антенной решетки с 25 микрофонами.

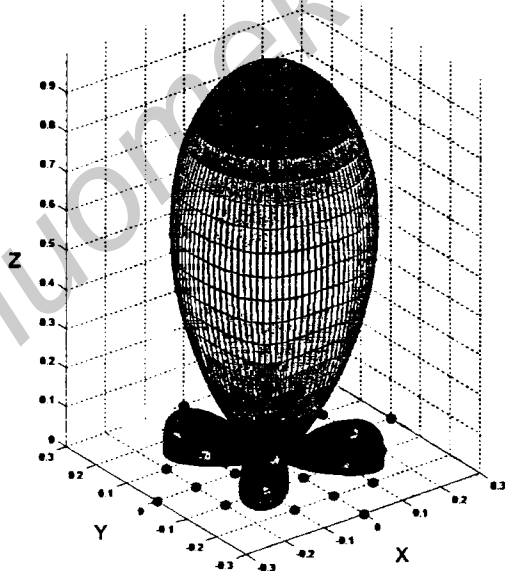
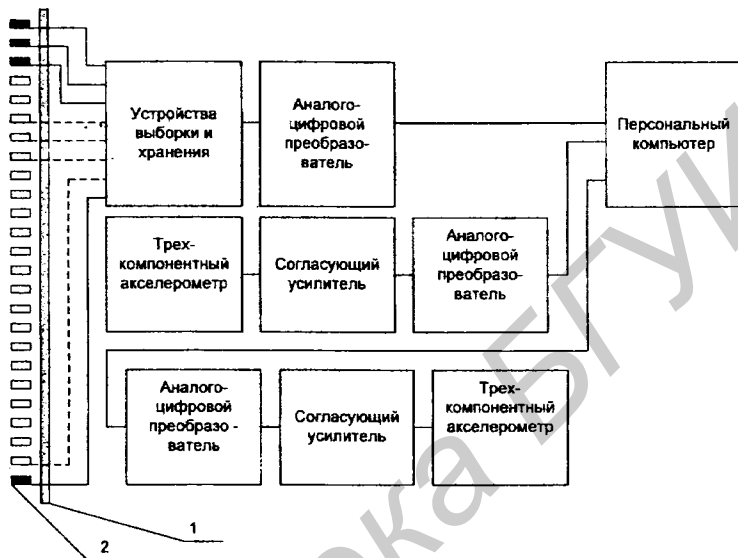


Рисунок 4 – Диаграмма направленности плоской ромбической антенной решетки

Структурная схема устройства на базе акустической антенной решетки для устройства измерения параметров вибраций и акустических шумов представлена на рисунке 5.



1 – основание антенной решетки; 2 – микрофон с фильтром и нормирующим усилителем

**Рисунок 5 – Структурная схема устройство бесконтактного измерения параметров вибрации и акустических колебаний**

Предложено решение по повышению точности и стабильности лазерных измерителей вибраций за счет введения контроля вибраций непосредственно самого измерителя и последующей компенсации собственных колебаний устройства в цифровом виде.

В четвертой главе представлены результаты моделирования элементов конструкций акустических каналов утечки речевой информации на персональном компьютере методом конечных элементов и исследования оценки разборчивости речи в зашумленном помещении.

Для математического описания процесса распространения речевой информации за ограждающие элементы конструкций, такие как стены, пол, потолок, использовались расчетные модели ограждающих элементов строительных конструкций в виде изотропных прямоугольных пластин постоянной толщины с различными граничными условиями закрепления.

Определение частот форм собственных колебаний пластины для заданных граничных условий имеет вид

$$p_{ij} = \pi^2 \left( \frac{i^2}{a^2} + \frac{j^2}{b^2} \right) \sqrt{\frac{D}{mh}}, \quad (3)$$

где  $i$  – число форм ( $i-1$  узловых линий) по длине пластины;  
 $j$  – число форм ( $j-1$  узловых линий) по ширине пластины;  
 $a$  – размер пластины по длине;  
 $b$  – размер пластины по ширине;  
 $D$  – цилиндрическая жесткость пластины на изгиб, рассчитывается как

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\sigma^2)}, \quad (4)$$

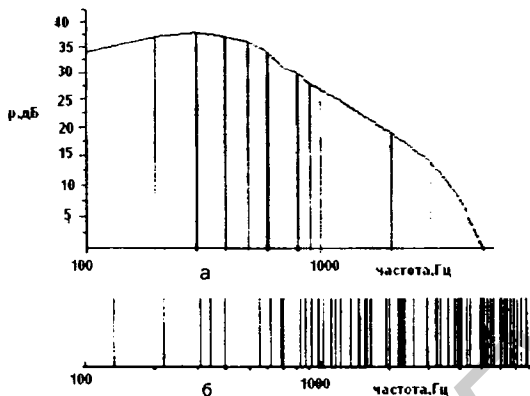
где  $E$  – модуль упругости;  
 $h$  – толщина пластины;  
 $\sigma$  – коэффициент Пуассона;  
 $m$  – плотность материала пластины;  
 $p$  – частота собственной формы колебаний пластины.

Для стены, выполненной из гипсовых блоков толщиной 0,09 м, длиной 6 м и высотой 3,2 м (модуль упругости равен  $1,2 \cdot 10^{10}$  Н/м, плотность  $2,3 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент Пуассона равен 0,25), частоты собственных форм колебаний с первой по десятую включительно представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частоты собственных форм колебаний гипсоблочной стены

$j \setminus i$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	77,3	256,7	555,7	974,3	1512,5	2170,4	2947,8	3844,8	4861,4	5997,7
2	129,9	309,3	608,3	1027,0	1565,2	2223,0	3000,4	3897,4	4914,1	6050,3
3	217,7	397,1	696,1	1114,7	1652,9	2310,7	3088,1	3985,2	5001,8	6138,0
4	340,5	519,9	818,9	1237,5	1775,7	2433,5	3211,0	4108,0	5124,6	6260,8
5	498,4	677,8	976,8	1395,4	1933,6	2591,5	3368,9	4265,9	5282,5	6418,8
6	691,4	870,8	1169,8	1588,4	2126,6	2784,5	3561,9	4458,9	5475,5	6611,8
7	919,5	1098,9	1397,9	1816,5	2354,7	3012,6	3790,0	4687,0	5703,6	6839,9
8	1182,7	1362,1	1661,1	2079,7	2617,9	3275,8	4053,2	4950,2	5966,8	7103,1
9	1481,0	1660,4	1959,4	2378,0	2916,2	3574,0	4351,5	5248,5	6265,1	7401,3
10	1814,3	1993,8	2292,8	2711,4	3249	3907,4	4684,8	5581,9	6598,5	7734,7

Проведенные расчеты показывают, что частоты собственных форм колебаний гипсоблочной стены, с первой по десятую форму включительно по высоте и длине стены, включая и их комбинации, лежат в диапазоне от 70 до 5000 Гц. На рисунке 6 показано расположение частот собственных форм колебаний гипсоблочной стены и сверху представлен спектр русской речи.



а – спектр русской речи; б – диаграмма частот собственных форм колебаний гипсоблочной стены

**Рисунок 6 – Диаграмма частот собственных форм колебаний гипсоблочной стены и спектр русской речи**

Анализ представленных результатов на рисунке б позволяет сопоставить спектр речевых сигналов, воздействующих на ограждающие элементы конструкций, и ряд собственных резонансных частот для ограждающих элементов конструкций. Спектр речевых сигналов перекрывается набором ряда собственных форм резонансных частот для ограждающих элементов конструкций. В результате в ограждающей конструкции возникают изгибные колебания с большими амплитудами на собственных формах резонансных колебаний. И как результат, обратная сторона ограждающей конструкции вызывает возмущение окружающей среды на собственных формах резонансных колебаний, тем самым формируя акустическую волну с речевой информацией. Таким образом, ограждающие конструкции можно характеризовать как фильтр пропускающий сигналы с частотами, равными собственным резонансным частотам изгибных колебаний ограждающих конструкций.

Учесть влияние видов закрепления, а также арматуры и вырезов в железобетонной стене можно, используя метод конечных элементов при расчетах. Метод конечных элементов представляет собой обобщение метода Релея–Ритца–Галеркина численного решения дифференциальных уравнений в частных производных. Хотя в методе Ритца не решаются непосредственно дифференциальные уравнения, а используется вариационная формулировка задачи и решение ищется в виде комбинаций  $\sum q_i \varphi_i$ , где  $q_i$  – весовые коэффициенты;  $\varphi_i$  – пробные полиномиальные функции.

Граничные условия для расчетной модели при жестком закреплении характеризуются равенством нулю перемещений по выбранной грани и равенством нулю поворотов, а для шарнирного закрепления предполагается равенство нулю как перемещений, так и изгибающих моментов по выбранным гранях. В качестве примера были выполнены расчеты форм собственных колебаний гипсоблочной стены с использованием программного пакета ANSYS. Результаты расчетов представлены на рисунке 7.

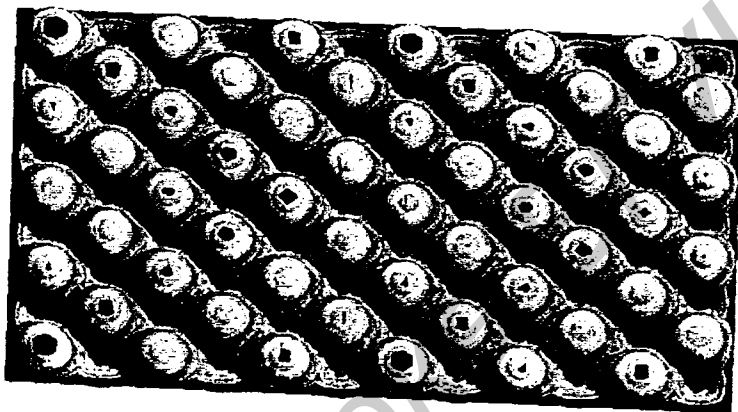


Рисунок 7 – Распределение амплитуд собственных колебаний гипсоблочной стены при закреплении по торцам с нулевыми смещениями по нормали

Форма собственных колебаний гипсоблочной стены с вырезом для дверного проема показана на рисунке 8.

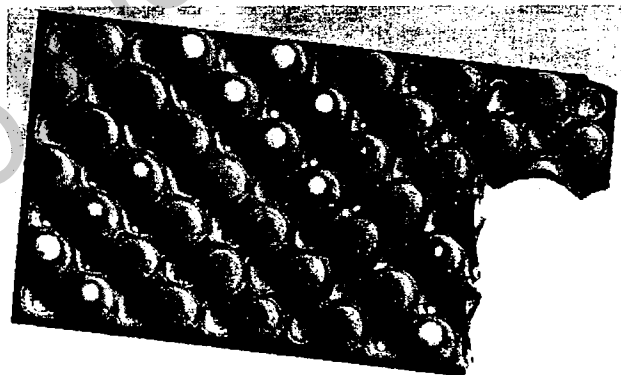


Рисунок 8 – Распределение амплитуд собственных колебаний гипсоблочной стены с вырезом для двери

Установлено, что для создания маскирующих сигналов для защиты речевой информации преобразователи необходимо устанавливать на ограждающие элементы конструкций (для стен) с расстоянием от края не менее двух толщин и не более 3 толщин ограждающей конструкций. Для стеклопакетов эффективным является расположение преобразователей в углах и на расстоянии 0,1 м от края.

Проведены исследования оценки разборчивости речевого сигнала в зашумленном помещении методом корреляционного анализа. Показано существование сильной связи между разборчивостью речи и силой голоса с коэффициентом корреляции свыше 0,7. Последнее позволило считать эти переменные линейно коррелированными и построить линии регрессии, значительно упрощающие оценку разборчивости речи. Было установлено также влияние скорости произнесения речи на разборчивость речи.

Показано на примере жесткой стены с низшей формой примерно 300 Гц и наличием спектральных составляющих в каждой октавной полосе, что разборчивость речи не будет равна 100 %.

Предложено расчет разборчивости речи для систем защиты информации в акустических каналах вести по предельным состояниям с учетом разброса силы голоса диктора и разброса остроты слуха аудиторов.

**В приложении** представлены акты об использовании результатов диссертационной работы, в частности в научном обосновании размещения преобразователей для маскирования речевых сигналов в ограждающих конструкциях защищаемого помещения и разработке руководства по эксплуатации устройства защиты речевой информации «Прибой» (НИЛ 5.3. БГУИР), а так же в учебном процессе Учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработана модель акустических каналов утечки речевой информации, включающая возбуждение колебаний ограждающих элементов конструкций на собственных частотах, преобразование видов колебаний, и механизмы снижения разборчивости речевой информации в акустических каналах за счет наложения комбинированных маскирующих сигналов шумового характера и всплесковых сигналов [5–А, 6–А, 14–А].

2. Установлено, что распространение речевой информации в акустических каналах происходит за счет изгибных колебаний элементов ограждающих конструкций. Показано, что собственные частоты изгибных колебаний на примере пластин имеет достаточно плотное расположение (в диапазоне частот от 75 до 7000 Гц расположено 97 форм колебаний гипсоблочной стены), за счет чего образовывается механизм прохождения достаточно широкополосного речевого сигнала путем прохождения отдельных узкополосных составляющих, распределенных по всему диапазону частот речевого сигнала. Наличие нелинейности при возбуждении резонансных колебаний ограждающих элементов конструкций при уровнях акустического давления выше 70 дБ в частотном диапазоне от 100 до 5000 Гц приводит к снижению уровня маскирующих шумов на 4 дБ [1–А, 4–А].

3. Предложено для обнаружения акустических каналов утечки речевой информации и поиска участков на ограждающих элементах конструкций с максимальными амплитудами колебаний использовать акустические антенные решетки. Это позволит определять в ограждающих элементах конструкций дефекты в виде трещин или сквозных отверстий и также находить участки с максимальными амплитудами для заданного диапазона или поддиапазона частот [2–А, 17–А, 18–А].

4. Показано, что основным механизмом прохождения акустических волн через ограждающие элементы конструкций помещений являются изгибные колебания ограждающих элементов конструкций. При этом имеет место возбуждение ряда собственных форм колебаний ограждающих элементов конструкций (резонансных колебаний). Собственные колебания для элементов ограждающих конструкций в виде пластин (стены, перегородки) лежат в диапазоне частот от 50 до 8000 Гц и их основной формой являются изгибные колебания при распространении речевой информации по трубам отопления и водоснабжения [3–А, 20–А].

## Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Определено, что для создания маскирующих сигналов для защиты речевой информации преобразователя необходимо устанавливать на ограждающие элементы конструкций (для стен) с расстоянием от края не менее двух толщин и не более трех толщин ограждающей конструкций. Для стеклопакетов эффективным является расположение преобразователей в углах и на расстоянии 0,1 м от края [9–А, 11–А, 13–А, 19–А].

2. Предложен расчет разборчивости речи для систем защиты информации в акустических каналах вести по предельным состояниям с учетом разброса силы голоса диктора и разброса остроты слуха auditors [6–А].

3. Предложено решение по повышению точности и стабильности лазерных измерителей вибраций за счет введения контроля вибраций непосредственно самого измерителя и последующей компенсации собственных колебаний устройства в цифровом виде. Решение защищено патентом на полезную модель [21–А].

4. Для симметричной эквидистантной линейной антенной решетки из семи микрофонов для зоны Фраунгофера оптимальные значения коэффициентов равны  $A_1 = A_7 = 3$ ,  $A_2 = A_6 = 2$ ,  $A_3 = A_5 = 1,5$ ,  $A_4 = 1$ . Значения коэффициентов были получены путем моделирования с использованием программного пакета MatLAB [7–А, 8–А, 12–А, 16–А].

5. Исследованы механизмы прохождения акустических волн через ограждающие элементы конструкций помещений. Рассчитанное значение звукового давления за счет преломления через железобетонную стену толщиной 200 мм (при возбуждении звуковым давлением  $P_u = 70$  дБ) ориентировочно составляет  $P_c \approx 15$  дБ, а для гипсовой стены толщиной 100 мм  $P_c \approx 18$  дБ. Как видно из расчетов, за счет преломления звука через ограждающие конструкции уровни почти одинаковы. Эксперименты показывают существенное различие, которое достигает 20 дБ. Это указывает на тот факт, что за счет механизма преломления акустических волн на границах раздела различных сред утечка речевой информации из защищаемого помещения незначительна, а основным механизмом переноса речевой информации в акустических каналах являются изгибные волны, за счет которых переданные уровни речевых сигналов на 20 дБ больше [10–А, 15–А].

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Статьи в научных рецензируемых журналах

1–А. Давыдов, Г.В. Защита речевой информации от утечки по акустическим каналам / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван, В.А. Попов, А.В. Потапович // Доклады БГУИР. – 2009. – № 4 (42). – С. 49–54.

2–А. Kawan, J.M. Acoustic antenna array for location of the sonic signal sources / J.M. Kawan, A.G. Davydu, H.V. Davydu // Доклады БГУИР. – 2010. – № 5. – (51). – С. 12–18.

3–А. Давыдов, Г.В. Методы обнаружения и определения характеристик возможных каналов утечки речевой информации / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван // Доклады БГУИР. – 2011. – № 5 (59). – С. 19–25.

4–А. Лыньков, Л.М. Особенности защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу / Л.М. Лыньков, Д.М. Каван, Г.В. Давыдов // Безопасность информационных технологий. – 2012. – № 1. – С.180–181.

5–А. Давыдов, Г.В. Модель канала утечки речевой информации / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван // Доклады БГУИР. – 2012. – № 3 (65). – С. 67–72.

6–А. Давыдов, Г.В. Оценка разборчивости речи в зашумленном помещении / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван, Ю.В. Шамгин // Доклады БГУИР. – 2012 – № 4 (66). – С. 99–104.

### Статьи в сборниках и материалах конференций

7–А. Давыдов, Г.В. Инструментальный поиск акустических каналов утечки речевой информации / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван, А.В. Потапович // Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф, Минск, 7–9 окт. 2008 г. / ВГКС. – Минск, 2008. – С. 143.

8–А. Каван, Д.М. Акустическая антенная решетка / Д. М. Каван, Я. В. Корольков, А. В. Потапович // Новые направления развития приборостроения: материалы 2-й Международной студ. науч.-техн. конф. Минск, 22–24 апр. 2009 г. / БНТУ. – Минск, 2009. – С. 29.

9–А. Давыдов, Г.В. Корректность инструментального метода оценки степени защищенности помещений от утечки речевой информации / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван, В.А. Попов, А.В. Потапович, Ю.В. Шамгин // Технические средства защиты информации: материалы VII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР. – Минск, 2009. – С. 17.

10–А. Каван, Д.М. Технические средства обнаружения акустических каналов утечки речевой информации / Д.М. Каван // Технические средства защиты информации: материалы VII Белорус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР. – Минск, 2009. – С. 17.

11–А. Каван, Д.М. Методы оценки защищенности акустических каналов от утечки речевой информации / Д.М. Каван // Современные средства связи: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29 сент.–1 окт. 2009 г. / ВГКС. – Минск, 2009. – С. 176.

12–А. Kawan, J. Antenna array simulation for location of sonic signal sources / J. Kawan, A. Davydau and H. Davydau // The 17<sup>th</sup> International congress on Sound & Vibration, Cairo, 18–22 July 2010 [Electronic resource] : book of abstracts. – Electronic data & programmes (250 Mb). – Cairo, 2010. – 1 electron. opt. disc (CD-ROM). – Paper 241. – P. 1–8.

13–А. Davydau, I. Machinery diagnostics use wavelet analysis and the estimations of differences of phases between quasi harmonic vibration components / I. Davydau, J. Kawan and V. Varabyeu // The 17<sup>th</sup> International congress on Sound & Vibration, Cairo, 18–22 July 2010 [Electronic resource] : book of abstracts. – Electronic data & programmes (250 Mb). – Cairo, 2010. – 1 electron. opt. disc (CD-ROM). – Paper 622. – P. 1–8.

14–А. Давыдов, Г.В. Модель защиты речевой информации в выделенном помещении от утечки по акустическому каналу / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван // Управление информационными ресурсами: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 10 февр. 2011 г. / Акад. упр. при Президенте Респ. Беларусь. – Минск, 2011. – С. 158.

15–А. Каван, Д.М. Методика экспериментальных исследований каналов утечки речевой информации / Д.М. Каван // Современные средства связи: материалы XVI Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–29 сент. 2011 г. / ВГКС. – Минск, 2011. – С. 108.

#### **Тезисы докладов на научных конференциях**

16–А. Давыдов, Г.В. Акустическая антенная решётка для локации источников звука в ближней зоне / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван, А.В. Потапович // Междунар. науч.-техн. конф., посв. 45-летию МРТИ-БГУИР: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 19 марта 2009 г.) / БГУИР. – Минск, 2009. – С. 169.

17–А. Каван, Д.М. Обнаружения акустических каналов утечки речевой информации / Д.М. Каван // Технические средства защиты информации: тез. докл.

VIII Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 17.

18–А. Давыдов, Г.В. Оптимизация параметров микрофонных решеток / Г.В. Давыдов, Д.М. Каван // Технические средства защиты информации: тез. докл. VIII Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР. – Минск, 2010. – С. 109.

19–А. Каван, Д.М. Маскирующие акустических сигналов для защиты речевой информации / Д.М. Каван // Технические средства защиты информации: тез. докл. IX Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 28–29 июня 2011 г. / БГУИР. – Минск, 2011. – С. 16.

20–А. Каван, Д.М. Оценка защищенности помещений от утечки речевой информации / Д.М. Каван // Технические средства защиты информации: тез. докл. X Беларус.-российск. науч.-техн. конф., Минск, 29–30 мая 2012 г. / БГУИР. – Минск, 2012. – С. 13–14.

### Патенты

21–А. Устройство бесконтактного измерения параметров вибрации и акустических колебаний: пат. 8195 Респ. Беларусь, МПК G 01 H9/00 / О.Б. Зельманский, Д.М. Каван, Г.В. Давыдов, Л.М. Лыньков; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u 20110836; заявл. 27.10.11; опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2. – С. 257.



## Р Э З Ю М Э

Каван Джамаль Масуд

### Выяўленне і падаўленне акустычных каналаў уцечкі маўленчай інфармацыі

**Ключавыя словы:** акустычны канал, маўленчая інфармацыя, элементы агароджваючых канструкцый, разборлівасць маўлення, акустычная антэнная рапotka, метад канечных элементаў.

**Мэта працы:** даследаванне механізмаў утварэння акустычных каналаў уцечкі маўленчай інфармацыі, спосабаў іх выяўлення і падаўлення, а таксама стварэнне на іх аснове метадаў і сродкаў абароны маўленчай інфармацыі ад уцечкі па акустычным канале.

**Метады даследавання і апаратура:** метад канечных элементаў, эксперыментальнае даследаванне акустычных каналаў уцечкі маўленчай інфармацыі, маскіраванне маўленчай інфармацыі і метады ацэнкі разборлівасці маўлення.

**Атрыманья вынікі і іх навізна:** Распрацавана мадэль акустычных каналаў уцечкі маўленчай інфармацыі, якая змяшчае ўзбуджэнне хістанняў элементаў агароджваючых канструкцый на ўласных частотах. Даследавана пераўтварэнне відаў хваляў і механізмы паніжэння разборлівасці маўленчай інфармацыі ў акустычных каналах за кошт накладання камбінаваных маскіруючых сігналаў шумавога характару і ўсплескавых сігналаў. Устаноўлена, што распаўсюджванне маўленчай інфармацыі ў акустычных каналах адбываецца за кошт выгінавых хістанняў элементаў агароджваючых канструкцый. Выяўлена наяўнасць нелінейнасці пры ўзбуджэнні рэзанансных хістанняў элементаў агароджваючых канструкцый пры ўзроўнях гукавога ціску выпэй за 70 дБ у частотным дыяпазоне ад 100 Гц да 5000 Гц. Прапанавана для выяўлення акустычных каналаў уцечкі маўленчай інфармацыі і пошуку ўчасткаў на элементах агароджваючых канструкцый з максімальнымі амплітудамі хістанняў выкарыстоўваць акустычныя антэнныя рапоткі.

**Ступень выкарыстання:** рэкамендацыі па месцах усталявання пераўтваральнікаў, ствараючых маскіруючыя сігналы, удасканалванне метадыкі ацэнкі разборлівасці маўлення для сістэм абароны інфармацыі.

**Вобласць ўжывання:** павышэнне ўзроўню абароны маўленчай інфармацыі ў памяшканнях.

## РЕЗЮМЕ

Каван Джамаль Масуд

### Обнаружение и подавление акустических каналов утечки речевой информации

**Ключевые слова:** акустический канал, речевая информация, ограждающие элементы конструкций, разборчивость речи, акустическая антенная решетка, метод конечных элементов.

**Цель работы:** исследование механизмов образования акустических каналов утечки речевой информации, способов их выявления и подавления и создание на их основе методов и средств защиты речевой информации от утечки по акустическому каналу.

**Методы исследования и аппаратура:** метод конечных элементов, экспериментальные исследования акустических каналов утечки речевой информации, маскирование речевой информации и методы оценки разборчивости речи.

Полученные результаты и их новизна: разработана модель акустических каналов утечки речевой информации, включающая возбуждение колебаний ограждающих элементов конструкций на собственных частотах. Исследовано преобразование видов колебаний и механизмы снижения разборчивости речевой информации в акустических каналах за счет наложения комбинированных маскирующих сигналов шумового характера и всплесковых сигналов. Установлено, что распространение речевой информации в акустических каналах происходит за счет изгибных колебаний элементов ограждающих конструкций. Установлено наличие нелинейности при возбуждении резонансных колебаний ограждающих элементов конструкций при уровнях звукового давления выше 70 дБ в частотном диапазоне от 100 до 5000 Гц. Предложено для обнаружения акустических каналов утечки речевой информации и поиска участков на ограждающих элементах конструкций с максимальными амплитудами колебаний использовать акустические антенные решетки.

**Степень использования:** рекомендации по местам установки преобразователей, создающих маскирующие сигналы, совершенствование методики оценки разборчивости речи для систем защиты информации.

**Область применения:** повышение защищенности речевой информации в помещениях.

## SUMMARY

Kawan Jamal Masud

### **Detection and Suppression of Speech Information Leakage through Acoustic Channels**

**Keywords:** acoustic channel, speech information, elements of partition walls, speech intelligibility, acoustic antenna array, finite element method.

**Aim of work** is to investigate the mechanisms of speech information leakage through acoustic channels, methods for their detection and suppression and creation on the base of these methods and tools for protecting speech information from leaking through the acoustic channel.

**Research techniques and facilities:** finite element method, the experimental study of speech information leakage through acoustic channels, masking of speech information and methods for assessment of the speech intelligibility.

**Obtained results and their originality:** The model of speech information leakage through acoustic channels, including the excitation of vibrations of structural elements of the partition walls at the eigenfrequencies is developed. The transformation of the oscillations and mechanisms of the reduction of the speech intelligibility by applying the combined masking noise signals and the wavelet signals is studied. It is proved that the distribution of speech information in the acoustic channels is due to the bending vibrations of partition wall elements.

The presence of nonlinearity in the excitation of resonant vibrations of partition wall elements in the envelope of sound pressure levels above 70 dB in the frequency range from 100 Hz to 5000 Hz is established. It is proposed to use acoustic antenna arrays for the detection of speech information leakage through acoustic channels and search sites on partition walls with the maximum amplitudes of the oscillations.

**Usage degree:** recommendations for the installation of converters to generate masking signals, improvement of the methodology for assessment of the speech intelligibility for information security systems.

**Application area:** increased protection of speech information in the premises.



*Научное издание*

**КАВАН ДЖАМАЛЬ МАСУД**

**ОБНАРУЖЕНИЯ И ПОДАВЛЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ КАНАЛОВ  
УТЕЧКИ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Специальность 05.13.19 – Методы и системы защиты информации,  
информационная безопасность

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Подписано в печать 10.10.2012.	Формат 60x84 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> .	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63.
Уч.-изд. л. 1,4.	Тираж 60 экз.	Заказ 482.

---

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