

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»

УДК [004.934+004.056.5]:811.411.21

АЛЬ-ХАТМИ  
Мохаммед Омар

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АКТИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ  
ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА АРАБСКОМ ЯЗЫКЕ

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

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

Минск 2011

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

Научный руководитель **Лыньков Леонид Михайлович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой защиты информации учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Официальные оппоненты: **Липницкий Станислав Феликсович**, доктор технических наук, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения "Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси";  
**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 «Высший государственный колледж связи»

Защита состоится 2 июня 2011 г. в 14.00 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, ауд. 232-1, тел. 293-89-89, e-mail: dissovnet@bsuir.by.

## **КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Для защиты речевой информации используются специальные устройства, создающие акустические и вибрационные помехи в пространстве окружающем их источник. Основная особенность эксплуатации подобных устройств — необходимость использования систем синтеза речи, учитывающих национальные особенности как языка переговоров, так и языка их конкретных участников. Еще одной задачей речевых технологий является распознавание диктора по голосу, позволяющая установить личность говорящего на основе индивидуальных характеристик речи. Для арабского языка весьма ограничены сведения по созданию таких систем, в том числе и речевых баз данных, учитывающих основные фонетические, лексические и грамматические особенности, что представляется весьма актуальным с точки зрения не только импорта устройств акустической защиты в арабские страны, но и идентификации русской речи дикторов — носителей арабского языка.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами**

Работа выполнялась в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в рамках научно-исследовательской работы ГБЦ № 06-3106 «Исследование особенностей и разработка алгоритмов функционирования и программно-технических средств для силовых ведомств с целью их использования в телекоммуникационных системах с общим и санкционированным доступом» по заданию № 13 Государственной комплексной программы научных исследований на 2006–2010 гг. «Национальная безопасность Республики Беларусь», № госрегистрации 20066846.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертационной работы является исследование статистических и артикуляционных особенностей арабской речи 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 обоснование выбора средств акустической маскировки с целью повышения защищенности помещений для переговоров путем уменьшения отношения уровень речевого сигнала к уровню шума.

2. Провести анализ статистических характеристик арабской речи и разработать на их основе слоговые, слововые и фразовые артикуляционные таблицы, учитывающие грамматические, ритмико-динамические и речевые особенности и закономерности гарантированного употребления каждой буквы.

3. Модернизировать устройство защиты информации серии «Прибой» введением в его структуру модуля синтеза речеподобных сигналов, основанных на использовании базы аллофонов, формируемых в том числе из речи участников переговоров.

4. Разработать блок-схему алгоритма формирования речеподобных сигналов на арабском языке и провести ее апробацию в конкретных условиях.

5. Исследовать сравнительные спектральные характеристики русскоязычных дикторов русского и арабского происхождения для систем идентификации личности.

Объектом исследования являются средства защиты речевой информации на арабском языке. Предмет исследования — являются спектральные характеристики арабской речи.

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

1. Обоснование автоматизированной базы данных арабского языка для генератора речеподобных сигналов, основанной на определении числа фраз в фонообразце, числа слогов в словах, формировании слогов с учетом предыдущего, преобразовании орфографических слов в фонемные, фонемных — в аллофонные ряды, что позволило разработать модуль формирования речеподобных сигналов для устройств защиты информации в том числе из реальной речи дикторов — участников переговоров.

2. Методика сегментации русскоязычных речевых сигналов на дикторов арабского происхождения, основанная на определении русских согласных и гласных звуков, имеющих отличие от арабских по месту артикуляции, способу артикуляции; определении русских согласных и гласных звуков, не употребляемых в арабской речи, что позволило разработать автоматизированную систему распознавания русскоязычных дикторов арабского происхождения для идентификации личности.

### **Личный вклад соискателя**

Создан ряд методик по учету особенностей речи арабоязычных дикторов, разработаны системы тестирующих таблиц современного

арабского языка, базы данных генератора маскирующего шума на арабском языке, алгоритмы работы модуля синтеза и осуществлено экспериментальное подтверждение разработанных методик. Соавторами основных публикаций автора являются научный руководитель профессор, д-р техн. наук Лыньков Л.М и канд. техн. наук Давыдов А.Г. которые осуществляли определение целей и постановку задач исследования, выбор методов исследований, принимали участие в планировании работ и обсуждение результатов.

### **Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на VI, VIII Международных научно-технических конференциях «Управление информационными ресурсами» (Минск, 2008 г., 2011 г.), XIII, XIV Международных научно-технических конференциях «Современные средства связи» (Минск, 2008 г., 2009 г.), VI, VII, VIII Белорусско-российских научно-технических конференциях «Технические средства защиты информации» (Минск 2008 г., 2009 г., 2010 г.), 2-й Международной студенческой научно-технической конференции «Новые направления развития приборостроения» (Минск, 2009 г.).

### **Опубликованность результатов диссертации**

По результатам исследований, изложенных в диссертации, опубликовано 16 работ, в том числе 1 монография, 4 статьи в научных журналах, 7 тезисов докладов и 3 статьи в материалах международных научно-технических конференций и семинаров; получен 1 патент на полезную модель. Общий объем публикаций по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присвоении ученой степени и присвоению ученых званий в Республике Беларусь, составляет 12,3 авт. листа.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. В первой главе проведен анализ современных методов и средств информационных параметров речи. Во второй главе предложены методики проведения эксперимента по созданию статистических речевых баз данных арабского языка, учитывающих лексические особенности, и спектрального анализа речи. В третьей главе рассматриваются проблемы синтеза речеподобных сигналов на основе аллофонной текстовой системы и создание баз данных на арабском языке для устройств защиты информации. В четвертой главе исследованы спектральные характеристики речи

русскоязычных дикторов русского и арабского происхождения и методики тестирования линий связи на арабском языке.

Общий объем диссертационной работы составляет 113 страниц, из которых 67 страниц основного текста, 57 рисунков на 22 страницах, 16 таблиц на 8 страницах, 4 приложения на 6 страницах, библиография из 99 наименований на 7 страницах, включая 15 публикаций автора на 2 страницах.

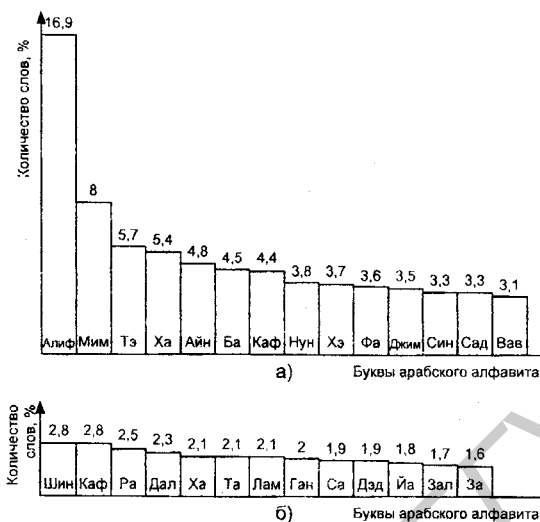
## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована необходимость проведения исследований для создания модуля синтеза речевых сигналов и алгоритма формирования речеподобных сигналов на арабском языке для устройств акустического речевого зашумления.

**В первой главе** приведен обзор активных акустических методов и средств защиты информации, акустической маскировки, подавления средств съема акустической информации, общих характеристик речи, систем верификации диктора по голосу, сегментации речи, спектральных характеристик речи, систем принятия решения об индивидуальности говорящего.

**Во второй главе** предложена методика статистического учета использования букв арабского алфавита для создания баз данных и возможной сегментации речевых сигналов на арабском языке. За основу методики оценки употребления той или иной буквы принимали частоту их употребления в арабско-русском словаре. При этом подсчитывалось количество арабских слов, начинающихся с определенной буквы. На рисунке 1 представлены результаты статистической обработки словаря на 9000 арабских слов с соответствующей русскоязычной транскрипцией.

Из представленных диаграмм видно, что наиболее используемой буквой арабского алфавита является буква «алиф», а наименее употребляемой — «за». Распределение частоты встречаемости букв явилось основанием для выбора слов и словаря для создания речевых баз арабского языка. Речевая база будет содержать минимальное количество слов, начинающихся с наименее употребляемой буквы («за») и максимальное количество слов, начинающихся с буквы «алиф». Например, составление текста при выборе пяти слов, начинающихся с буквы «за» потребует большего количества слов, начинающихся с буквы «алиф», и текст будет составлен из 450 арабских слов.



**Рисунок 1 – Результаты статистического анализа употребления начальных букв в арабском словаре**

Узнавание слова на арабском языке производится посредством восприятия ударных слогов и ритмико-динамической структуры слова в целом.

На основании анализа современных текстов на арабском языке (газетных статей объемом 20 000 слов) определяли относительную встречаемость различных типов слов в арабской речи (таблица 1).

**Таблица 1 – Уровень встречаемости различных типов слов в арабской речи**

Слоги в словах	Ударение на слогах	Относительная встречаемость, %
Однослоговые слова	–	31
Двухсловные слова	1-й слог	24
	2-й слог	18
Трехсловные слова	1-й слог	6
	2-й слог	7
	3-й слог	6
Четырехсловные слова	1-й слог	1
	2-й слог	1
	3-й слог	1
	4-й слог	1,8

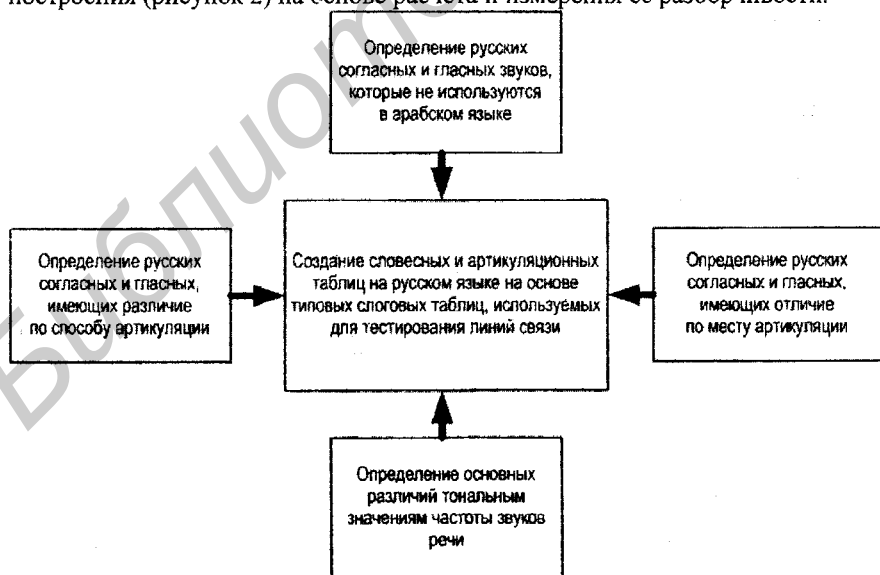
Анализ таблицы 1 показывает, что в арабском языке преимущественно используются однослоговые (до 31%) и двуслоговые слова (до 42%). В русском языке такое соотношение составляет 12,6 и 31% соответственно.

На основе проведенного анализа составлено 50 артикуляционных таблиц по 50 слов в каждой в соответствующей пропорции — каждая таблица в миниатюре отражает ритмико-динамическую структуру арабской речи (в словарной форме).

При оценке принадлежности диктора к какой-либо этнической группе (национальности) используются экспертные методики определения разборчивости речевых сигналов, в частности, по артикуляционной таблице 1, которые представляют собой измерения относительного числа правильно переданных слов, слогов и звуков через испытываемый (тестируемый) канал. Разрабатываемая методика формирования баз данных на русском языке, используемая диктором-носителем арабской речи, в первую очередь, предназначена для систем распознавания русскоязычной речи, экспертных систем, систем оценки и улучшения качества связи, анализа речи возможных террористов и злоумышленников.

В диссертационной работе разработаны методологические основы и составлены артикуляционные таблицы на русском языке путем сравнения систем согласных и гласных звуков арабского и русского языков, различий в статистических характеристиках спектра речи для оценки ее разборчивости и идентификации.

Для возможного автоматизированного распознавания русскоговорящих дикторов арабского происхождения, предлагается следующая схема построения (рисунок 2) на основе расчета и измерения ее разборчивости.



**Рисунок 2 – Схема построения методики анализа русскоязычной речи, произносимой арабскоязычным диктором**



Основной особенностью данной методики является установление и учет распределения звукового давления такой речи по октавным полосам.

При изучении статистических характеристик речи использовались аудиозаписи с речью дикторов, которые являются носителями данных языков. Запись аудиозаписей выполнялась на персональном компьютере с помощью аппаратуры RFT для акустических измерений с линейной частотной характеристикой в диапазоне 20 Гц – 10 кГц и программы Sound Forge 9.0. Предварительная обработка аудиофайлов проходила с использованием программы Sound Forge 9.0. Запись дикторов из Беларуси и арабских стран проводилась в акустически заглушенной комнате.

**В третьей главе** представлен принцип действия и условия эксплуатации устройства защиты речевой информации «Прибой-А». Основой большинства активных устройств защиты речевой информации является генератор широкополосного шума, формируемый с управляемым усилителем. Для разработки устройства, маскирующего акустические шумы на арабском языке, в качестве базовых для исследований выбраны разработки НИЛ 5.3 БГУИР «Прибой» и «Прибой-Р», широко применяемые в стране. Устройство защиты речевой информации на арабском языке, разработанное с участием автора, получило наименование «Прибой-А».

Принцип действия устройства «Прибой-А» основан на создании в возможных каналах утечки речевой информации повышенных уровней маскирующих акустических шумов, благодаря чему становится проблемным выделение речевого сигнала из шума. Устройство состоит из акустического генератора шума, подключенных к нему акустических преобразователей, выносного пульта и выносного микрофона.

Основой акустического генератора шума является электрический генератор широкополосного шума, сигнал с которого после амплитудного ограничения поступает на полосовой фильтр с частотами среза 160 и 8000 Гц и затуханием сигнала 12 дБ на октаву вне полосы пропускания.

Разработан модуль синтеза речеподобных сигналов на арабском языке, которые формируются по случайному закону и по своим основным временным, спектральным характеристикам, а также восприятию на слух максимально подобны речевым сигналам, но не содержат смысловой информации. Данный модуль использует аллофонную модель и модифицированный слоговый метод синтеза текста. Структура данного модуля схожа со структурой аллофонной системы синтезатора речи по тексту на русском языке, однако некоторые блоки имеют другое назначение.

Представление о статистических характеристиках элементов речи арабского языка можно получить из данных, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Статистические характеристики различных элементов речи

Вероятность появления, %	Число элементов речи					
	1	2	3	4	5	6
Фраз в фонетическом периоде	5	10	15	30	25	10
Синтагм во фразе	5	10	30	25	15	10
Слов в синтагме	5	10	30	25	15	10
Слогов в слове	2	13	30	28	16	7

После синтагмы, фразы и фоноабзаца обязательно должна присутствовать пауза, длительность которой является среднестатистической для арабского языка выбирается (таблица 4).

Таблица 4 – Статистические характеристики формирование пауз

Элементы речи	Синтагма	Фраза	Фоноабзац
Длительность, с	0,3	0,8	1,5

Так как при синтезе речеподобных сигналов необходимо использовать повествовательный стиль произношения текста, то задача блока просодического процессора немного упрощается и сводится к определению частоты основного тона слова в зависимости от его положения в синтагме, фразе, фонетическом периоде. Число слогов в синтезируемом слове определяется исходя из статистических данных, приведенных в таблице 5.

Таблица 5 – Распределение вероятности длины слова

Число слогов в слове	1	2	3	4
Вероятность появления слова, %	31	42	19	4,8

Положение ударения в слове зависит от длины последнего и определяется исходя из статистических данных, полученных экспериментальным путем и приведенных в таблице 6.

На основе информации о том, какие аллофоны необходимо синтезировать, а также какие просодические характеристики должны быть приписаны каждому аллофону, блок акустического процессора генерирует речевой сигнал путем компиляции отрезков естественных звуковых волн соответствующих аллофонов.

Таблица 6 – Распределение вероятности положения ударения в слове

Число слогов в слове	Вероятность ударения на <i>i</i> -й слог, %			
	1	2	3	4
1	100,0	–	–	–
2	57,1	42,9	–	–
3	31,5	37	31,5	–
4	20,8	20,8	20,8	37,6

Структурная схема модуля синтеза арабской речи приведена на рисунке 3.

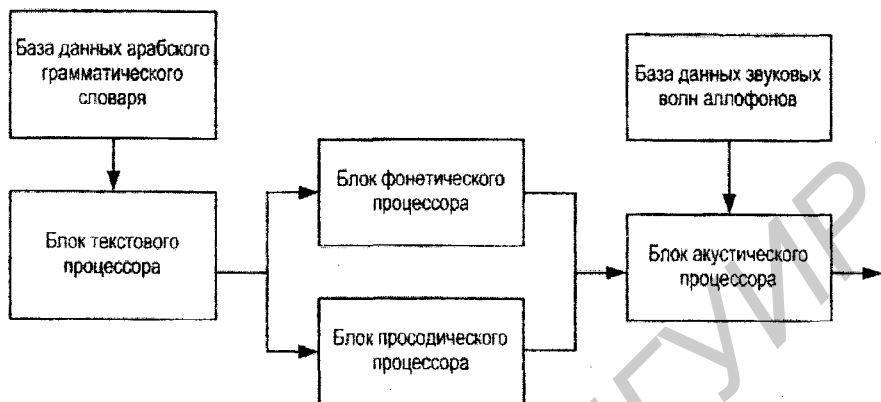


Рисунок 3 – Структурная схема модуля синтеза речевого сигнала

Разработанный метод формирования речеподобных сигналов основан на использовании базы аллофонов, формируемой из речи участников контролируемых переговоров.

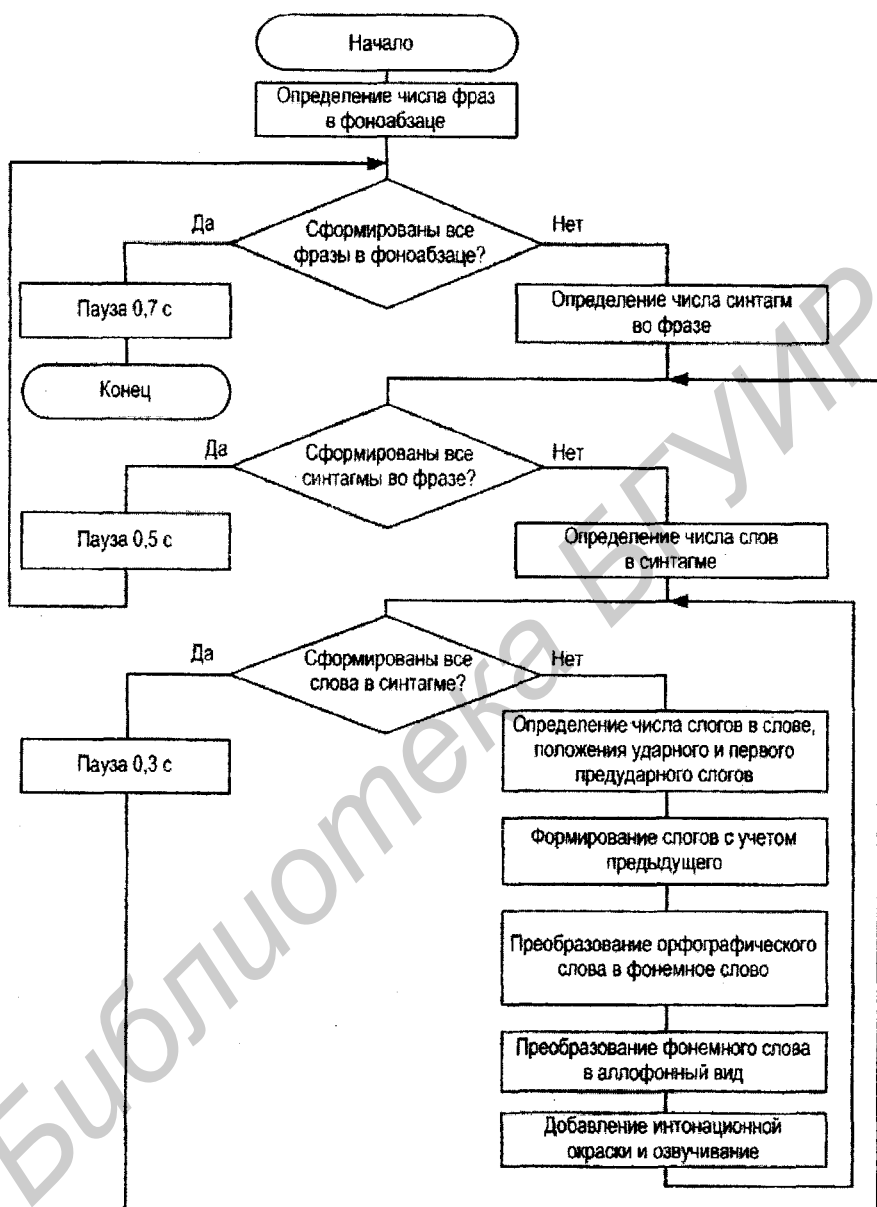
Блок-схема алгоритма работы модуля синтеза арабской речи приведена на рисунке 4.

Псевдотекст, получаемый в результате реализации данного алгоритма, наиболее близок к естественной речи. Пример синтезированного фоноабзаца выглядит следующим образом:

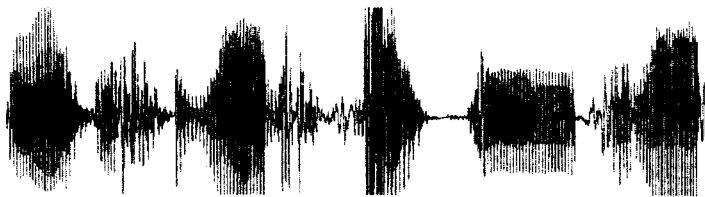
«Хияба аштрех мазфао. Ксапах гиямусс ширфао. Гуядаз. Тивкармам асиеба ашаоах. Тазаре бунхил саётоб обхтоб.

Рудхиз завотаашр. Ануйшк кесмпор ритмурлат. Гим остади кахлауаёб».

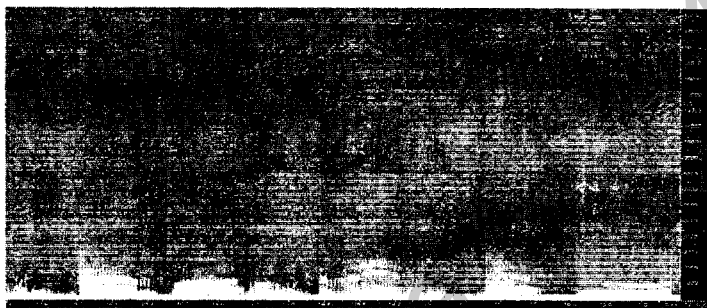
На рисунках 5 и 6 приведены временная и спектральная реализации синтезированного фоноабзаца на арабском языке.



**Рисунок 4 – Блок-схема алгоритма формирования речеподобных сигналов**



**Рисунок 5 – Временная реализация синтезированного фоноабзаца на арабском языке**



**Рисунок 6 – Спектральная реализация синтезированного фоноабзаца на арабском языке**

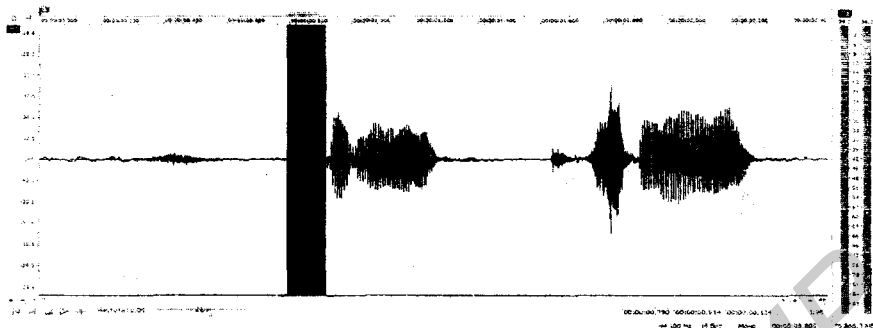
В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования спектральных характеристик русской речи дикторов русского и арабского происхождения. Проведен анализ фонетических особенностей русского и арабского языков.

Для записи использовались слова, подобранные таким образом, чтобы отразить все возможные комбинации использования звуков, произношение которых имеет различия в русском и арабском языках.

Например, для изучения различий в произношении звука [з] использовались следующие слова: «зубр», «забираться», «заяц», «зебра», «здание», «здесь», «казак», «кузнец», «козёл», «газ», «таз», «туз», «паз», «порез». Эти слова являются легкими для произношения примерами, где звук [з] употребляется в начале, середине и конце слова.

Порядок получения спектрограмм состоит в записи речи диктора; анализе полученных звуковых волн; выделении исследуемого участка звуковой волны, соответствующего рассматриваемому звуку, и спектральном анализе выбранного участка.

Далее следует выделить звук, который подлежит анализу. Выделение должно быть четким, чтобы на видимый спектр речевого сигнала не оказывали влияние соседние звуки (рис. 7).



**Рисунок 7 – Выделение исследуемого участка звуковой волны**

Затем необходимо активизировать окно спектрального анализа. После этого на экране появится спектрограмма выделенного участка звуковой волны, которая будет использоваться при сравнении произношения звуков арабоязычными и русскоязычными дикторами.

Аналогичный порядок процедур выполнялся для остальных дикторов, что позволило собрать статистический материал, по результатам которого можно проводить сравнение спектров звуков.

Например, выбор арабской согласной [с] обусловлен тем, что он является межзубным фрикативным звуком в отличие от русского согласного звука [с].

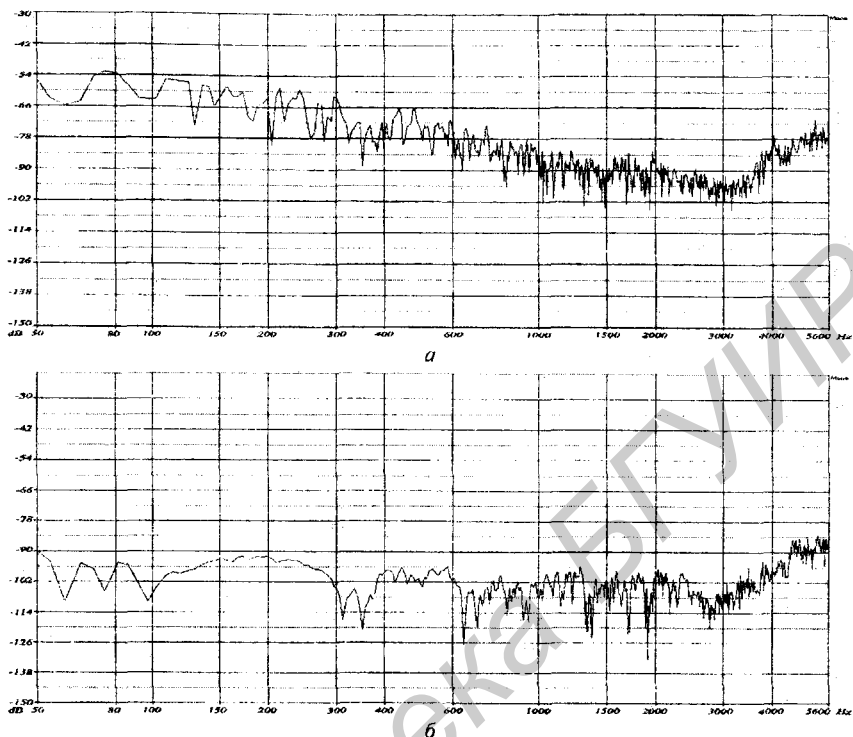
Анализ характеристик распределения спектра по октавным полосам частот показывает, что в слове «слон» в речи русскоязычного диктора при использовании звука [с] наблюдаются не ярко выраженные форманты на частотах от 100 до 400 Гц (рисунок 8).

Проводились исследования спектральных характеристик речи дикторов русского и арабского происхождения. Для подсчета средних значений данные уровней звукового давления  $P$ , выраженного в децибелах переводились в значение выраженное в паскалях, по формуле

$$P = 10^{(P/20)} \cdot P_0, \quad (1)$$

где  $P$  — полученное значение уровня звукового давления, дБ;  $P_0$  — пороговый уровень слуха, равный  $2 \cdot 10^{-5}$  Па.

Далее для всех значений  $P$  одной октавы находилось среднее значение звукового давления  $P_{\text{ср}}$ . Средние значения звукового давления  $P_{\text{ср}}$  переводились в звуковое давление, выраженное в децибелах.



**Рисунок 8 – Спектральная характеристика звука [с] в тестовом слове ([с]лон): арабоязычный диктор (а), русскоязычный диктор (б)**

Для оценки полученных результатов и задания доверительного интервала было посчитано среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  в каждой октаве по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{cp})^2}{n}}, \quad (2)$$

где  $P_i$  – значение звукового давления в октаве для  $i$ -го диктора, Па;  $i$  – для всех дикторов, представителей одного языка;  $n$  – количество дикторов.

В таблице 7 представлены результаты анализа спектров речи для различных языков. В графе «Белорусская» представлены спектры жителей Республики Беларусь, которые читали текстовые таблицы Д50 и Д70 на русском языке из СТБ ГОСТ Р50840-2000. Показано, что статистические характеристики речи разных языков различны. При оценке разборчивости речи в каналах связи и построении систем защиты речевой информации необходимо учитывать полученные данные. При построении более точных

систем можно использовать характеристики звукового давления по третьоктавным полосам, которые являются более точными.

Таблица 7 – Распределение звукового давления по октавным полосам

Речь	Среднее значение звукового давления, дБ				
	1-я октава, $f_{cp} = 250$ Гц	2-я октава, $f_{cp} = 500$ Гц	3-я октава, $f_{cp} = 1000$ Гц	4-я октава, $f_{cp} = 2000$ Гц	5-я октава, $f_{cp} = 4000$ Гц
Белорусская	$P_{cp} = 65,4$	$P_{cp} = 67,1$	$P_{cp} = 59,0$	$P_{cp} = 55,2$	$P_{cp} = 50,4$
	$P_{cp} + \sigma_+ = 66,6$	$P_{cp} + \sigma_+ = 68,0$	$P_{cp} + \sigma_+ = 61,5$	$P_{cp} + \sigma_+ = 57,6$	$P_{cp} + \sigma_+ = 52,9$
	$P_{cp} - \sigma_- = 63,9$	$P_{cp} - \sigma_- = 66,0$	$P_{cp} - \sigma_- = 55,7$	$P_{cp} - \sigma_- = 52,0$	$P_{cp} - \sigma_- = 46,7$
Русская	66,3	66,0	60,8	56,1	53,0
Арабская	64,8	64,2	63,2	57,9	49,8
Английская	65,1	67,0	62,6	53,7	44,0

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Предложена методика статистического учета использования букв арабского алфавита на основе встречаемости начальных букв в арабско-русском словаре (9 000 слов) и учета употребления букв в качестве начальной. Проведен анализ лексических особенностей арабского языка, созданы артикуляционные таблицы для тестирования линий связи и определения их качества по показателям разборчивости речи. Показана возможность создания фразовых артикуляционных таблиц, учитывающих грамматические особенности арабского языка и гарантированного употребления каждой буквы [1–А, 7–А, 12–А].

2. Исследован уровень встречаемости в арабской речи различных типов слов путем анализа современных текстов (научных статей объемом 20 000 слов). Показано, что в арабском языке преимущественно используются однослоговые (до 31%) и двухслоговые слова (до 42%). В результате исследований составлены артикуляционные таблицы при условии отражения в каждой ритмико-динамической структуре арабской речи [1–А, 7–А, 12–А].

3. С использованием аллофонной модели синтезатора речи и модифицированного слогового метода синтеза арабоязычного текста разработан модуль формирования речеподобных сигналов, формируемых по случайному закону и по своим основным временным, спектральным характеристикам и восприятию на слух, максимально подобным речевым сигналам, не содержащих смысловой информации. Показано, что основной



задачей модуля является преобразование формируемого с учетом статистических закономерностей орфографического псевдотекста на арабском языке в акустические колебания звукового диапазона частот. Проведены расчеты статистических характеристик различных элементов речи, формируемых пауз, распределения вероятности длин слова и положения ударений в слове. Показано, что соответствие спектральных характеристик речеподобных сигналов речевым может быть обеспечено использованием выбранной синтезируемой базы аллофонов, формируемых из реальной речи дикторов, носителей арабского языка [1-А, 2-А, 6-А, 9-А].

4. Разработана база данных арабского языка для структурной схемы модуля синтеза речевого сигнала и блок-схема алгоритма формирования речеподобных сигналов на арабском языке, который основан на учете определения числа фраз в фонообразце, числа слогов в слове, формировании слогов с учетом предыдущего, преобразовании орфографического слова в фонемное, фонемного слова — в аллофонный ряд. При этом алгоритм формирования последовательности слогов состоит в генерировании случайного числа, равномерно распределенного от 0 до 1, и поиска соответствующего слога, указываемого данным числом [1-А, 2-А, 15-А, 16-А].

5. Разработаны принципы построения и описания баз данных на русском языке с целью сегментации речевых сигналов арабоязычных дикторов, для автоматизированного распознавания дикторов. Первый этап построения такой методики, заключается в определении русских согласных и гласных звуков, имеющих различие по месту артикуляции. Второй этап характеризуется определением русских согласных и гласных звуков, которые не употребляются в арабской речи. На третьем этапе проводится анализ русскоязычных текстов и их направленный выбор для оценки разборчивости речи [5-А, 15-А].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Установлено различие в спектре речи русского и арабского языков. Показано, что использование характеристик звукового давления по третьоктавным полосам приводит к более точным результатам при оценке разборчивости речи в каналах связи и построении систем защиты речевой информации для каждого конкретного языка, что позволило создать модифицированный вариант устройства защиты речевой информации «Прибой-А» для экспорта в арабоязычные страны.

2. Экспериментально исследованы спектральные характеристики русскоязычных дикторов русского и арабского происхождения. Показано, что у некоторых спектральных характеристик речи могут наблюдаться различия в их произношении, что свидетельствует о перспективности использования методики при идентификации по голосу для систем контроля доступа.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Монографии

1—А. М.О. Аль-Хатми, Активные и пассивные методы и средства защиты информации от утечки по техническим каналам / М.О. Аль-Хатми, Л.М. Лыньков, О.Б. Зельманский, С.Н. Петров; под ред. Л.М. Лынькова. — Минск: Бестпринт, 2011. — 260 с.

### Статьи в научных журналах

2—А. Аль-Хатми, М.О. Синтез речеподобных сигналов арабского языка / М.О. Аль-Хатми, В.И. Воробьев, А.Г. Давыдов / Доклады БГУИР. — 2007. — № 3. — С. 15–19.

3—А. Аль-Хатми, М.О. Формирование баз данных на русском языке для верификации арабоязычных дикторов / М.О. Аль-Хатми, М.Ш. Махмуд, Л.М. Лыньков, А.Г. Давыдов, Д.А. Борисевич / Доклады БГУИР. — 2009. — № 5. — С. 87–92.

4—А. Аль-Хатми, М.О. Создание речевых баз арабского языка для тестирования линий связи / М.О. Аль-Хатми, Л.М. Лыньков, А.Г. Давыдов / Инженерный вестник. — 2009. — № 1. — С. 8–12.

5—А. Махмуд, М.Ш. Определение основных различий по артикуляции звука русской речи арабоязычными дикторами / М.Ш. Махмуд, М.О. Аль-Хатми, Л.М. Лыньков, А.Г. Давыдов, В.В. Чепикова / Доклады БГУИР. — 2010. — № 5. — С. 105–111.

### Статьи в сборниках материалов конференций

6—А. Аль-Хатми, М.О. Эксперименты в обеспечении формирования базы аллофонов речевых сигналов арабского языка / М.О. Аль-Хатми, В.И. Воробьев, А.Г. Давыдов / Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 7–9 окт. 2008 г. / ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. — Минск, 2008. — С. 175–176.

7—А. Аль-Хатми, М.О. Статистические характеристики спектра речи / М.О. Аль-Хатми, Д.А. Борисевич, Г.В. Давыдов, А.В. Потапович / Современные средства связи: материалы XIV Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 29 сент. — 1 окт. 2009 г. / ВГКС; редкол.: М.А. Баркун [и др.]. — Минск, 2009. — С. 167–168.

8—А. Зельманский, О.Б. Анализ методов оценки периода основного тона речевого сигнала / О.Б. Зельманский, М.О. Аль-Хатми / Управление

информационными ресурсами: материалы VIII Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10 февр. 2011 г. / Академия управления при Президенте Респ. Беларусь; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2011. – С. 156–158.

### Тезисы докладов на научных конференциях

9–А. Аль-Хатми, М.О. Экспериментальная оценка распределения вероятностей длительностей синтагм в речевых сигналах арабского языка / М.О. Аль-Хатми / VI Белорусско-российская научно-техническая конференция «Технические средства защиты информации»: материалы докл. и кратк. сообщ., Минск, 21–22 мая 2008 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2008. – С. 21–22.

10–А. Аль-Хатми, М.О. Тестирование линий связи / М.О. Аль-Хатми, Д.В. Ананич, К.А. Орловский / Тезисы докладов международной научно-технической конференции, посвященной 45-летию МРТИ–БГУИР, Минск, БГУИР, 19 марта 2009 г. – С. 200–201.

11–А. Ананич, Д.В. Выбор метода тестирования линий связи на арабском языке / Д.В. Ананич, К.А. Орловский, М.О. Аль-Хатми / «Новые направления развития приборостроения»: материалы 2-й Междунар. студ. науч.-техн. конф., Минск, 22–24 апр. 2009 г. / БНТУ; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 98.

12–А. Аль-Хатми, М.О. Принципы составления слоговых артикуляционных таблиц на арабском языке для систем связи / М.О. Аль-Хатми, М.Ш. Махмуд, Д.В. Ананич, К.А. Орловский / «Технические средства защиты информации»: материалы VII Бел.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 14–15.

13–А. Аль-Хатми, М.О. Разработка методики оценки качества речевой информации на арабском языке / М.О. Аль-Хатми, Л.М. Лыньков, Г.В. Давыдов / «Технические средства защиты информации»: материалы VII Бел.-рос. науч.-техн. конф., Минск, 23–24 июня 2009 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2009. – С. 21.

14–А. Махмуд, М.Ш. Автоматическая верификация русскоязычного диктора арабского происхождения / М.Ш. Махмуд, С.В. Старков, М.О. Аль-Хатми, В.В. Чепикова / VIII Бел.-рос. науч.-техн. конф. «Технические средства защиты информации»: тез. докл. и кратк. сообщ., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 39–40.

15–А. Аль-Хатми, М.О. Требования к детектору идентификации диктора по ключевым словам / М.О. Аль-Хатми, М.Ш. Махмуд, Д.В. Ананич,

К.А. Орловский / VIII Белорусско-российская науч.-техн. конф. «Технические средства защиты информации»: Тез. докл. и кратк. сообщ., Браслав, 24–28 мая 2010 г. / БГУИР; редкол.: Л.М. Лыньков [и др.]. – Минск, 2010. – С. 40–41.

### Патенты

16–А. Устройство автоматического распознавания диктора по речи: пат. 6754 Респ. Беларусь, МПК 7 G10L15 / 00 / О.Б. Зельманский, М.О. Хатми; заявитель учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники». – № u20100311; заявл. 25.03.2010; опубл. 04.08.2010 // Афіцыйны бюлетень / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2010 г. – № 5. – С. 242.



**Тэхнічныя сродкі актыўнае акустычнае абароны  
моўнае інфармацыі на арабскай мове**

*Ключавыя словы:* акустычнае маскаванне, арабская мова, мованадобныя сігналы, сістэмы ідэнтыфікацыі асобы, артыкуляцыйная табліца.

*Мэта працы:* даследаваць статыстычныя і артыкуляцыйныя асаблівасці арабскае мовы і стварыць на іхнай аснове метады і сродкі абароны моўнае інфармацыі ад працэку па акустычных каналах.

*Метады даследавання і апаратура:* статыстычны аналіз арабскае мовы, эксперыментальнае вывучэнне аўдыязапісаў праводзілі з выкарыстаннем апаратуры RFT і праграмы Sound Forge 9.0 у акустычным бязрэхавым памяшканні. Пабудова спектраў мовы рабілася з дапамогаю праграмы MATLAB R2008.

*Атрыманая вынікі і іх навіна:* прапанаваная метадыка статыстычнага ўліку выкарыстання літараў арабскага альфабэту; створаны артыкуляцыйныя табліцы для тэставання лініяў сувязі і вызначэння іх якасці па паказчыках разборлівасці мовы; з выкарыстаннем алафоннае мадэлі сінтэзатара мовы і мадыфікаванага складовага метаду сінтэзу арабамоўнага тэксту; распрацаваны модуль фармавання мованадобных сігналаў, якія фармуюцца па выпадковым законе, якія па сваіх часовых і спектральных характарыстыках, а гэтаксама ўспрыманні слыхам, максімальна падобныя на моўныя сігналы, якія не змяшчаюць сэнсавае інфармацыі; распрацаваная база дадзеных арабскае мовы для структурнае схемы модуля моўных сігналаў і блок-схема алгарытму фармавання мованадобных сігналаў на арабскай мове, які заснаваны на ўліку вызначэння колькасці фразы ў гукаўзоры, вызначэнні колькасці складоў у слове, фармаванні складоў з улікам папярэдняга, пераўтварэнні слова ў фанэмнае, а фанэмнага слова — у алафонны шэраг.

*Ступень выкарыстання:* распрацаваныя прылады “Прыбой-А” якія прызначаны для імпарту ў арабамоўныя краіны.

*Галіна ўжывання:* вырабы для маскавання мовы, сістэмы распазнавання мовы.

**Технические средства активной акустической защиты речевой информации на арабском языке**

*Ключевые слова:* акустическая маскировка, арабская речь, речеподобные сигналы, системы идентификации личности, артикуляционная таблица.

*Цель работы:* исследовать статистические и артикуляционные особенности арабской речи и создать на их основе методы и средства защиты речевой информации от утечки по акустическим каналам.

*Методы исследования и аппарата:* статистический анализ арабской речи, экспериментальное изучение аудиозаписей проводилось с использованием аппаратуры RFT и программы Sound Forge 9.0 в акустически заглушенном помещении. Построение спектров речи производилось с помощью программы MATLAB R2008.

*Полученные результаты и их новизна:* предложена методика статистического учета использования букв арабского алфавита; созданы артикуляционные таблицы для тестирования линий связи и определения их качества по показателям разборчивости речи; с использованием аллофонной модели синтезатора речи и модифицированного слогового метода синтеза арабоязычного текста разработан модуль формирования речеподобных сигналов, формируемых по случайному закону, которые по своим временным и спектральным характеристикам, а также восприятию на слух, максимально подобны речевым сигналам, не содержащим смысловой информации; разработана база данных арабского языка для структурной схемы модуля речевого сигнала и блок-схема алгоритма формирования речеподобных сигналов на арабском языке, который основан на учете определения числа фраз в фонообразце, определении числа слогов в слове, формировании слогов с учетом предыдущего, преобразовании орфографического слова в фонемное, а фонемного слова — в аллофонный ряд.

*Степень использования:* разработанные устройства «Прибой-А» предназначены для импорта в арабоязычные страны.

*Область применения:* изделия для маскирования речи, системы распознавания речи.

## RESUME

Al-Hatmi Mohammed Omar

### **Technical means of the active acoustic protection of speech information in Arabic**

*Keywords:* acoustic masking, the Arabic speech, speech-like signals, system identification, articulation table.

*Aim of work* to investigate the statistical features of the Arabic language, speech articulation and to create protection methods of the speech information from the leakage on acoustic channels.

*Research techniques and facilities:* a statistical analysis of Arabic speech, the experimental study of sound recordings performed using hardware RFT and software Sound Forge 9.0 in an acoustically anechoic room. Construction of the spectrum of speech was performed using MATLAB R2008.

*Obtained results and their originality:* the technique of statistical use of the Arabic letters is proposed, the articulation table for the testing of communication lines and determination of their quality in accordance with intelligibility indicators are set up, allophone models of the speech synthesizer and a modified syllabic synthesis method developed by the Arabic-speaking text module forming speech-like signals generated at random, which by their temporal and spectral characteristics, as well as listening comprehension, as similar to speech signals, which does not contain meaningful information; developed a database of Arabic for the block diagram of a module of the speech signal and the flow chart of the formation of speech-like signals in Arabic language, which is based on the account to determine the number of phrases in sound sample, determining the number of syllables in a word, the formation of syllables with the preceding, the transformation of orthographic words into phonetic ones and phonetic words — into the number of allophones.

*Usage degree:* device designed «Priboj-A» intended for import into Arabic-speaking countries.

*Application area:* products to mask the speech, a speech recognition system.

Научное издание

АЛЬ-ХАТМИ МОХАММЕД ОМАР

**ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АКТИВНОЙ АКУСТИЧЕСКОЙ  
ЗАЩИТЫ РЕЧЕВОЙ ИНФОРМАЦИИ НА АРАБСКОМ ЯЗЫКЕ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

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

---

Подписано в печать 25. 04. 2011г.	Формат 60×84 1/16.	Бумага офсетная.
Гарнитура «Таймс».	Отпечатано на ризографе.	Усл. печ. л. 1,63
Уч.-изд. л. 1,4	Тираж 60 экз.	Заказ 259

---

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