

Калмычков Игорь Евгеньевич

Методы обеспечения семантического доступа к речевым сообщениям при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с амплитудной однополосной модуляцией в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты

Специальность 05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном казённом военном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Военная академия Министерства обороны Российской Федерации» (филиал, г. Череповец, Вологодская область) на кафедре 12.

**Научный руководитель** – кандидат технических наук, доцент Нохрин Олег Александрович.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор Ипатов Валерий Павлович, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина), профессор кафедры радиотехнических систем;

кандидат технических наук, доцент Сауков Александр Михайлович, Военная академия Министерства обороны Российской Федерации (филиал, г. Череповец, Вологодская область), начальник НИЛ 1.

**Ведущая организация** – ОАО «НИИ «Вектор».

Защита диссертации состоится 6 июня 2012 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.238.03 Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина) по адресу: 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Проф. Попова, 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_\_ года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета

С. А. Баруздин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Несмотря на высокий темп развития средств спутниковой, тропосферной и радиорелейной связи, характерный для последних десятилетий, во многих отраслях народного хозяйства продолжают использоваться системы радиосвязи диапазона ВЧ (далее – ВЧ связь). Существенным недостатком систем ВЧ связи является низкая энергетическая скрытность источников радиоизлучения (ИРИ), что обусловило применение в средствах связи специальных методов, снижающих возможности средств радиоперехвата по добыванию информации. Одним из таких методов является использование режима псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ). Однако в ряде случаев существует объективная необходимость ведения радиоперехвата, в том числе сигналов, излучаемых в этом режиме.

В настоящее время на линиях ВЧ связи режим ППРЧ используется как при излучении радиосигналов с дискретным модулирующим сигналом, так и радиосигналов с аналоговой амплитудной однополосной модуляцией и полностью подавленной несущей частотой (АОМ-ППН). Анализ основных параметров радиосигнала АОМ-ППН, излучаемого в режиме ППРЧ, (АОМ-ППН/ППРЧ) показал, что его формирование осуществляется без применения методов шифрования речи (таблица 1). Это обусловило возможность получения семантического доступа к речевым сообщениям при радиоперехвате таких сигналов. В данном случае под семантическим доступом понимается добывание информации на основе анализа смыслового содержания перехваченного речевого сообщения.

Таблица 1 – Основные параметры радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ

Ширина адресной группы частот	Длительность излучения на одной частоте	Полоса частот речевого сигнала	Подавление несущей частоты	Способ шифрования
256 кГц	200 мс	270...2800 Гц	Не менее 50 дБ	Без шифрования

Однако достоверное понимание смыслового содержания перехваченного речевого сообщения возможно только при обеспечении требуемой разборчивости речи. Известно, что при приеме радиосигнала АОМ-ППН разборчивость речи зависит от точности настройки радиоприемного устройства (РПУ) на несущую частоту сигнала. Однако при

радиоперехвате, как правило, отсутствуют априорные сведения о несущих частотах отдельных элементов радиосигнала (ОЭР) с ППРЧ, соответствующих излучению на одной частоте. Это обуславливает необходимость оценивания несущих частот при обработке ОЭР с точностью и достоверностью, обеспечивающей требуемую разборчивость речи при радиоперехвате.

Особенности частотно-временной структуры радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ такие, как малая длительность излучения на одной частоте и высокое подавление несущей частоты (таблица 1), не позволяют использовать существующие методы для оценивания несущих частот отдельных элементов рассматриваемого радиосигнала. Тем не менее, соответствие частотной структуры ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ частотной структуре речевого сигнала (РС), переданного на его длительности, создает предпосылки для расчета несущей частоты на основе измеренного значения частотного параметра РС. Существующие методы измерения частотных параметров РС подробно рассмотрены в работах Л. Р. Рабинера и Дж. Д. Маркела. Однако их применение требует предварительного устранения априорной неопределенности о времени начала излучения и приближенном значении частотных границ ОЭР.

Существующие методы устранения априорной неопределенности о параметрах радиосигнала с ППРЧ, подробно рассмотренные в работах В. И. Борисова, А. И. Замарина, А. М. Рембовского, не позволяют в условиях высокой загрузки полосы пропускания (ПП) РПУ, характерной для диапазона ВЧ, достичь требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов АОМ-ППН/ППРЧ (здесь и далее под высокой загрузкой ПП РПУ понимаются значения загрузки равные или большие 35 %).

Таким образом, существует проблемная ситуация, суть которой заключается в использовании режима ППРЧ при излучении радиосигналов АОМ-ППН на линиях ВЧ связи и отсутствие методов, обеспечивающих семантический доступ к речевым сообщениям при радиоперехвате таких сигналов.

**Цель работы и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является обеспечение требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов АОМ-ППН/ППРЧ в условиях высокой загрузки ПП РПУ. Для достижения цели исследований сформулирована **научная задача**

по разработке методов, позволяющих оценить значения несущих частот отдельных элементов радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ в условиях высокой загрузки ПП РПУ с точностью и достоверностью, обеспечивающей семантический доступ к речевым сообщениям. В процессе исследований проведена декомпозиция научной задачи, выделены и решены следующие частные задачи:

разработка метода обнаружения радиосигналов, позволяющего в условиях высокой загрузки ПП РПУ выполнить требование к измерению частотных параметров речевого сигнала;

разработка метода оценивания несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ, позволяющего оценить значение несущей частоты на основе измеренного значения частотного параметра речевого сигнала с точностью и достоверностью, необходимой для достижения требуемой разборчивости речи в перехваченном сообщении;

разработка методики обеспечения семантического доступа к речевым сообщениям, позволяющей достичь требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с АОМ-ППН/ППРЧ на основе совместного применения разработанных методов обнаружения радиосигналов и оценивания несущих частот.

**Объектом исследований** являются радиосигналы АОМ-ППН/ППРЧ, **предметом исследований** – методы обнаружения и идентификации радиосигналов с ППРЧ, методы распознавания радиосигнала АОМ-ППН по виду модуляции, методы измерения несущей частоты, методы измерения частотных параметров речевого сигнала.

**Основные методы исследования.** При проведении теоретических исследований использованы положения акустической теории речеобразования, теории передачи сигналов, теории распознавания образов, теории спектрального анализа, теории вероятностей и математической статистики. Оценивание рабочих характеристик разработанных методов произведено на основе математического и имитационного моделирования. Оценивание возможности практического применения разработанных методов и методики выполнено на основе полунатурных и натурных экспериментов.

**Научная новизна.** В ходе исследования получены новые научные результаты, к которым относятся:

разработанные методы обнаружения радиосигналов и оценивания несущих частот, основанные на использовании результатов спектрального анализа и закономерностей в формировании речевого сигнала, позволяющие обеспечить необходимую точность и достоверность оценивания несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ для достижения требуемой разборчивости речи;

разработанная методика обеспечения семантического доступа, основанная на использовании разработанных методов, позволяющая достичь требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с АОМ-ППН/ППРЧ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

метод обнаружения радиосигналов, отличающийся использованием в качестве порога решения сглаженной оценки энергетического спектра, позволяет в условиях высокой загрузки ПП РПУ выполнить требование к измерению частотных параметров речевого сигнала;

метод оценивания несущих частот отдельных элементов радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ, отличающийся использованием измеренного значения первой формантной частоты речевого сигнала, позволяет обеспечить требуемую разборчивость речи в принятом сообщении;

методика обеспечения семантического доступа к речевым сообщениям, отличающаяся совместным использованием разработанных методов обнаружения радиосигналов и оценивания несущих частот, позволяет достичь требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с АОМ-ППН/ППРЧ.

**Практическая ценность** диссертационной работы состоит в том, что разработанное на основе полученных научных результатов специальное программное обеспечение, повышает результативность добывания информации от ИРИ, использующих режим ППРЧ при излучении радиосигналов АОМ-ППН, за счет обеспечения требуемой разборчивости речи при радиоперехвате.

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационных исследований использованы при выполнении опытно-конструкторской работы «Жасмин-СПВ» и при модернизации комплекса «Патруль-М». Перечисленные работы выполняет ОАО «НИИ «Вектор»

**Апробация работы.** Основные положения и результаты работы докладывались и получили положительную оценку на 35-й военно-научной конференции во 2-м ЦНИИ МО РФ (г. Тверь, 2009 г.), 19-й межвузовской конференции в ЧВИИРЭ (г. Череповец, 2010 г.), 11-й межвузовской заочной научно-практической конференции молодых ученых в ЧГУ (г. Череповец, 2010 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 3 статьи в изданиях рекомендованных ВАК, 4 публикации в материалах конференций, 1 патент на изобретение «Способ обнаружения множества узкополосных радиосигналов в широкой полосе частот».

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и списка использованных источников. Она изложена на 134 страницах текста, содержит 33 рисунка, 15 таблиц и список использованных источников, включающий 102 наименования.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, научная новизна и практическая ценность полученных результатов, а также научные положения, выносимые на защиту.

**Первый раздел** посвящен обзору технических проблем добывания информации при радиомониторинге систем ВЧ связи.

На основе ГОСТ Р 50840-95 сформулировано требование к слоговой разборчивости речи, при выполнении которого обеспечивается достоверное понимание перехваченного сообщения

$$S_{PI} > 40\% , \quad (1)$$

где  $S_{PI}$  – слоговая разборчивость речи в перехваченном сообщении.

Сформулированы требования к методам устранения априорной неопределенности о параметрах радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ, выполнение которых позволит достичь требуемого значения  $S_{PI}$ . В частности на основе сведений представленных в работе М. В. Верзунова, а также в работах ряда авторов, посвященных обработке радиосигналов с ППРЧ, сформулированы требования к точности ( $\Delta f_{HEC}$ ) и достоверности оценивания несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ ( $p_{OH}$ ):

$$|\Delta f_{HEC}| \leq 300 \text{ Гц}; \quad (2)$$

$$p_{OH} > 0,52. \quad (3)$$

На основе анализа особенностей обнаружения радиосигналов с ППРЧ в диапазоне ВЧ установлено, что повысить достоверность обнаружения ОЭР позволяет применение в комплексах радиомониторинга ненаправленных антенн и РПУ с полосой пропускания, соответствующей или превышающей ширину адресной группы частот радиосигнала с ППРЧ. Однако в этом случае требуется решить задачу обнаружения ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ при загрузке ПП РПУ до 90 % и отношении мощности сигнала к мощности помехи (ОСП) в ПП РПУ до  $-100$  дБ.

Кроме того, показано, что при обработке радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ измерение частотных параметров РС на основе существующих методов возможно только при выполнении требования

$$\Delta f_{\text{ЧП}} < 200 \text{ Гц}, \quad (4)$$

где  $\Delta f_{\text{ЧП}}$  – разрешающая способность измерителя по частоте.

На основе сформулированных требований (1 - 4) выполнено оценивание возможности включения в разрабатываемую методику существующих методов обнаружения радиосигналов с ППРЧ, методов, используемых для решения задачи идентификации и селекции ОЭР с ППРЧ, методов оценивания несущей частоты радиосигнала, методов измерения частотных параметров речевого сигнала. Результат оценивания позволил сформулировать цель, научную задачу, а также выбрать и обосновать основные направления исследования.

**Во втором разделе** представлен метод, применение которого позволяет выполнить требование к измерению частотных параметров речевого сигнала при обнаружении радиосигналов в условиях высокой загрузки ПП РПУ. Разработанный метод включает четыре этапа обработки входного случайного процесса (ВСП), поступающего с выхода РПУ.

На первом этапе разработанного метода производится вычисление энергетического спектра выборки ВСП. Результат вычисления позволяет производить обнаружение радиосигналов в частотной области.

На втором этапе осуществляется расчет порога решения для каждой спектральной составляющей энергетического спектра. Отличительной особенностью предложенного подхода к вычислению порога решения



является расчет его значений на основе медианной оценки энергии спектральных составляющих в скользящем по оси частот окне сглаживания

$$X_{СГЛ}(k) = \text{Ме}\{X(v)\}, \quad (5)$$

где  $X_{СГЛ}(k)$  – значения отсчетов сглаженного энергетического спектра (порог решения),  $k$  – номер спектрального отсчета для которого рассчитан порог решения,  $\text{Ме}\{\cdot\}$  – функция вычисления медианного значения последовательности отсчетов энергетического спектра  $X(v)$ ,  $v \in [k - (K_{СГЛ} - 1)/2, k + (K_{СГЛ} - 1)/2]$ ,  $K_{СГЛ}$  – число отсчетов в окне сглаживания.

Целесообразность использования в качестве основы для расчета порога решения медианной оценки обусловлена тем, что значение порога решения будет являться оценкой энергии шума во всех случаях при выполнении условия:

$$q_{\text{шум}} > q_{\text{сиг}}, \quad (6)$$

где  $q_{\text{сиг}}$ ,  $q_{\text{шум}}$  – соответственно число сигнальных и шумовых отсчетов в окне сглаживания.

Известно, что при уменьшении  $K_{СГЛ}$  вероятность попадания в окно сигнальных составляющих, принадлежащих мешающим излучениям, уменьшается. Однако при значения  $K_{СГЛ} \leq 2q_{\text{обн}}$ , где  $q_{\text{обн}}$  – число отсчетов в энергетическом спектре обнаруживаемого сигнала, на величину порога решения оказывает влияние энергия обнаруживаемого сигнала, что снижает помехоустойчивость обнаружителя. Поэтому при наличии априорных сведений о ширине спектра обнаруживаемого сигнала наименьшее влияние загрузки ПП РПУ на вероятность правильного решения ( $p_{\text{обн}}$ ) достигается при выполнении следующего условия

$$K_{СГЛ} = 2q_{\text{обн}} + 1, \quad (7)$$

При расчете порога решения на основе формулы (5) и выборе  $K_{СГЛ}$  в соответствии с условием (7) его величина зависит только от энергии спектральных составляющих в окне сглаживания и не зависит от энергии спектральных составляющих за пределами окна (рисунок 1). Это снижает зависимость  $p_{\text{обн}}$  от загрузки ПП РПУ, а также обуславливает возможность обнаружения радиосигналов при значениях ОСП, характерных для диапазона ВЧ (до  $-100$  дБ), в том случае, если мешающий сигнал с энергией,

превышающей энергию обнаруживаемого сигнала, не попадет в окно сглаживания.

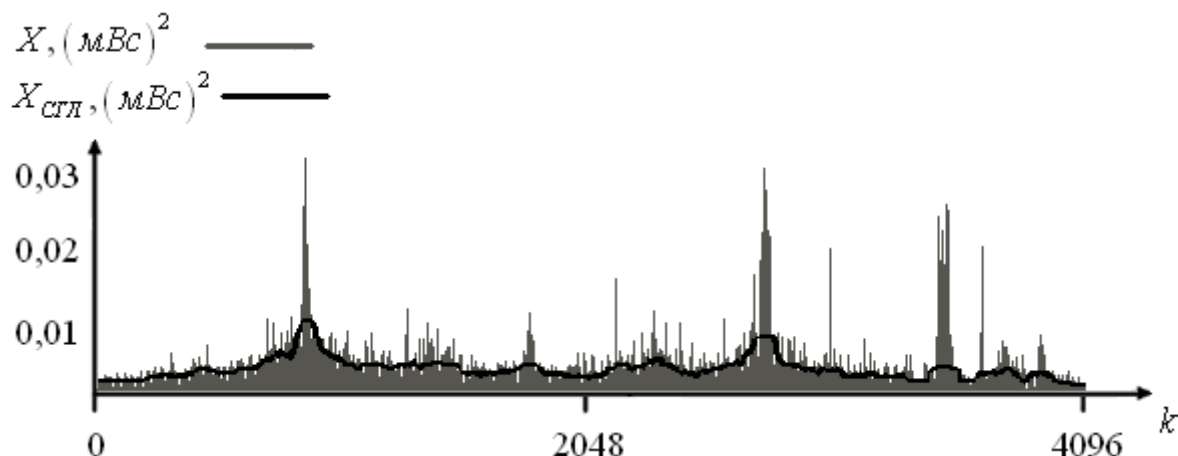


Рисунок 1 – Энергетический спектр и порог решения

Однако из определения медианы известно, что при расчете порога решения на основе выражения (5), вероятность его превышения шумовой составляющей энергетического спектра ( $p_{ш}$ ) равна 0,5. Это обуславливает высокую вероятность ложной тревоги при принятии решения об обнаружении сигналов на основе сравнения энергии спектральных составляющих с величиной порога.

Снизить вероятность ложной тревоги ( $p_{лт}$ ) до допустимого значения ( $p_{лт} = 0,001$ ) и при этом сохранить возможность обнаружения сигналов в условиях высокой загрузки ПП РПУ позволяет мажоритарная обработка. Для ее реализации на третьем этапе метода формируется массив с результатами сравнения энергии спектральных составляющих с величиной порога решения, полученными при таком числе последовательно обработанных выборок ВСП ( $L$ ), при котором выполняется условие

$$p_{ш}^L \leq p_{лт} / K_{эс}, \quad (8)$$

где  $K_{эс}$  – число отсчетов в энергетическом спектре ВСП.

Решение об обнаружении сигнала принимается на четвертом этапе метода в соответствии со следующим правилом:

$$k \in \begin{cases} Q_{сиг}, & \text{при } X(k) > X_{CGL}(k) \text{ во всех } L \text{ выборках;} \\ Q_{шум}, & \text{при } X(k) \leq X_{CGL}(k) \text{ хотя бы в одной из } L \text{ выборок.} \end{cases} \quad (9)$$

где  $Q_{сиг}$ ,  $Q_{шум}$  – множество сигнальных и шумовых отсчетов энергетического спектра.

В диссертационной работе показано, что при выборе значения  $L$  учитывается с одной стороны необходимость достижения допустимого значения  $p_{ЛТ}$ , с другой стороны то, что суммарная длительность выборок, используемых при мажоритарной обработке, не должна превышать длительности ОЭР с ППРЧ, иначе в соответствии с правилом (9) это приведет к его пропуску.

Выполненный в ходе диссертационного исследования расчет позволил установить, что при обнаружении радиосигналов с АОМ-ППН/ППРЧ достичь  $p_{ЛТ} = 0,001$  возможно при  $L = 22$  выборкам, при этом максимально допустимое значение  $L = 24$  выборкам. Кроме того, выполнены расчеты, позволившие оценить помехоустойчивость обнаружителя, реализованного на основе разработанного метода. Результаты теоретических расчетов подтверждены экспериментально (рисунок 2, а). Кроме того, выполнено экспериментальное оценивание зависимости  $p_{ОБН}$  от загрузки ПП РПУ (рисунок 2, б) при изменении ОСП в ПП от  $-100$  до  $0$  дБ, в результате которого установлено, что разработанный метод удовлетворяет требованиям по загрузке ПП РПУ и ОСП в ПП РПУ. При проведении экспериментов разрешающая способность обнаружителя по частоте составила  $122$  Гц, что соответствует требованию (4).

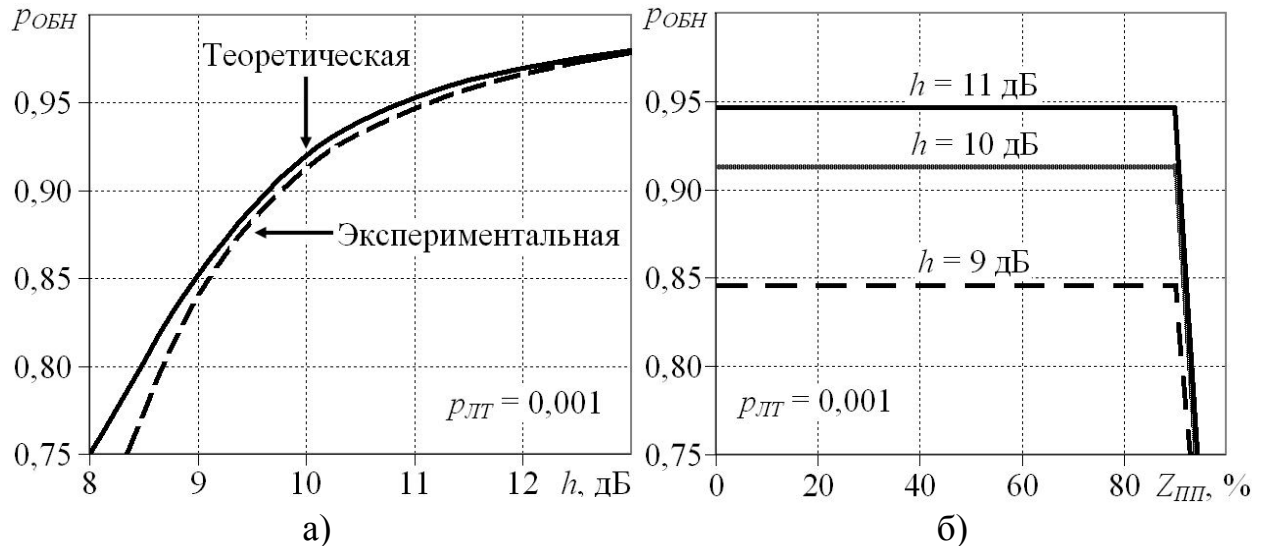


Рисунок 2 – Зависимости  $p_{ОБН}$  от а) отношения мощности сигнала к мощности шума ( $h$ ) и б) загрузки ПП РПУ ( $Z_{ПП}$ )

При проведении расчетов и экспериментов приняты следующие допущения: для приема радиосигнала с АОМ-ППН/ППРЧ используется РПУ с полосой пропускания  $500$  кГц; дискретизация ВСП осуществляется при

частоте дискретизации 500 кГц на основе квадратурного метода, выборка ВСП содержит 4096 отсчетов; отношение мощности сигнала к мощности шума (ОСШ) измерялось в полосе частот обнаруживаемого сигнала.

Таким образом, во втором разделе решена частная научная задача по разработке метода обнаружения радиосигналов, позволяющего в условиях высокой загрузки ПП РПУ выполнить требование к измерению частотных параметров речевого сигнала. При этом помехоустойчивость обнаружителя, реализованного на основе разработанного метода, не хуже помехоустойчивости обнаружителей, реализованных на основе существующих методов.

Совместное применение разработанного метода обнаружения и известных методов, используемых при идентификации ОЭР с ППРЧ, позволяет приближено оценить частотные и временные границы ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ. Однако на основе этих оценок невозможно достичь требуемой точности измерения несущей частоты (2). Поэтому **третий раздел** посвящен разработке метода оценивания несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ, на основе которого возможно достичь требуемой точности (2) и достоверности (3) оценивания несущих частот. Разработанный метод включает пять этапов обработки энергетического спектра ВСП.

На первом этапе метода уточняются временные границы ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ. Для этого оценка времени начала излучения ОЭР, полученная при его обнаружении сравнивается с границами временной сетки. Основу для формирования временной сетки составляют априорные сведения о длительности ОЭР и синхросигнала, излучаемого главной станций радиосети. Правило, в соответствии с которым осуществляется уточнение временных границ, имеет следующий вид:

$$\begin{cases} t_{ГР} < \tilde{t}_{ОБН} < t_{ГР+1}; \\ \tilde{t}_{НАЧ} = t_{ГР}; \\ \tilde{t}_{ОК} = t_{ГР+1}, \end{cases} \quad (10)$$

где  $t_{ГР}$  – время, соответствующее границе временной сетки, предшествующей моменту обнаружения ОЭР,  $t_{ГР+1}$  – время, соответствующее следующей границе временной сетки,  $\tilde{t}_{ОБН}$  – оценка времени начала излучения ОЭР, полученная при его обнаружении,  $\tilde{t}_{НАЧ}$ ,  $\tilde{t}_{ОК}$  – уточненные оценки времени начала и окончания излучения ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ.

На втором этапе метода выполняется расчет усредненного энергетического спектра ОЭР. Целью данного этапа является повышение достоверности измерения частотного параметра РС при воздействии шума, а также оценивание его среднего значения на длительности ОЭР.

На третьем этапе метода выполняется измерение первой формантной частоты (ПФЧ) РС. Выбор ПФЧ для оценивания несущей выполнен на основе сравнительного анализа статистических характеристик частотных параметров РС. При проведении анализа использованы плотности распределения основных частотных параметров РС, представленные в работах М. А. Сапожкова и В. Г. Михайлова. В ходе анализа установлено, что наилучшим образом оценить несущую частоту возможно на основе частоты основного тона. Однако при формировании рассматриваемого радиосигнала его энергия в допустимой полосе частот этого параметра (120 - 240 Гц) подавляется более чем на 40 дБ, что не позволяет использовать данный параметр для оценивания несущей при ОСШ, характерных для линий ВЧ связи (9 - 15 дБ).

В ходе дальнейшего анализа установлено, что при заданной точности  $|\Delta f_{HEC}| \leq 300$  Гц достичь наибольшей достоверности оценивания возможно при расчете несущей частоты на основе ПФЧ. Однако известно, что формантная структура наилучшим образом проявляется для вокализованных звуков речи. Тем не менее, сравнение длительности и вероятности встречаемости вокализованных и невокализованных звуков речи показало целесообразность использования ПФЧ для оценивания несущей.

Основу для измерения ПФЧ составил известный подход к измерению частотных параметров РС. Его суть заключается в параболической интерполяции энергии трех спектральных отсчетов в допустимой частной области ПФЧ:  $X_{MAX}$ ,  $X_{MAX-1}$ ,  $X_{MAX+1}$ , где  $X_{MAX}$  – значение спектрального отсчета с максимальной энергией,  $X_{MAX-1}$ ,  $X_{MAX+1}$  – значения спектральных отсчетов, расположенных соответственно слева и справа от  $X_{MAX}$ .

На четвертом этапе метода осуществляется расчет несущей частоты ОЭР

$$\tilde{f}_{HEC} = \tilde{f}_{ПФЧ} - M \{ f_{ПФЧ} \}, \quad (11)$$

где  $\tilde{f}_{НЕС}$  – рассчитанное значение несущей частоты ОЭР,  $\tilde{f}_{ПФЧ}$  – измеренное значение ПФЧ РС,  $M\{f_{ПФЧ}\} = 500$  Гц – математическое ожидание ПФЧ.

На пятом этапе разработанного метода формируется матрица, содержащая значения  $\tilde{t}_{НАЧ}$  и  $\tilde{f}_{НЕС}$  для каждого отдельного элемента обработанного радиосигнала.

Оценивание достоверности измерения несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ выполнено на основе имитационного моделирования. При оценивании учтено, что измерение ПФЧ на основе существующих подходов возможно только для сегментов речевого сигнала, соответствующих вокализованному звуку речи, а также то, что на длительности ОЭР совместно с вокализованным звуком могут передаваться: невокализованный звук, невокализованный звук и пауза, или пауза. Результаты имитационного моделирования представлены на рисунке 3, где  $\tau_{ВЗ}$  – длительность вокализованного звука, переданного на длительности ОЭР,  $\tau_{ОЭР}$  – длительность ОЭР.

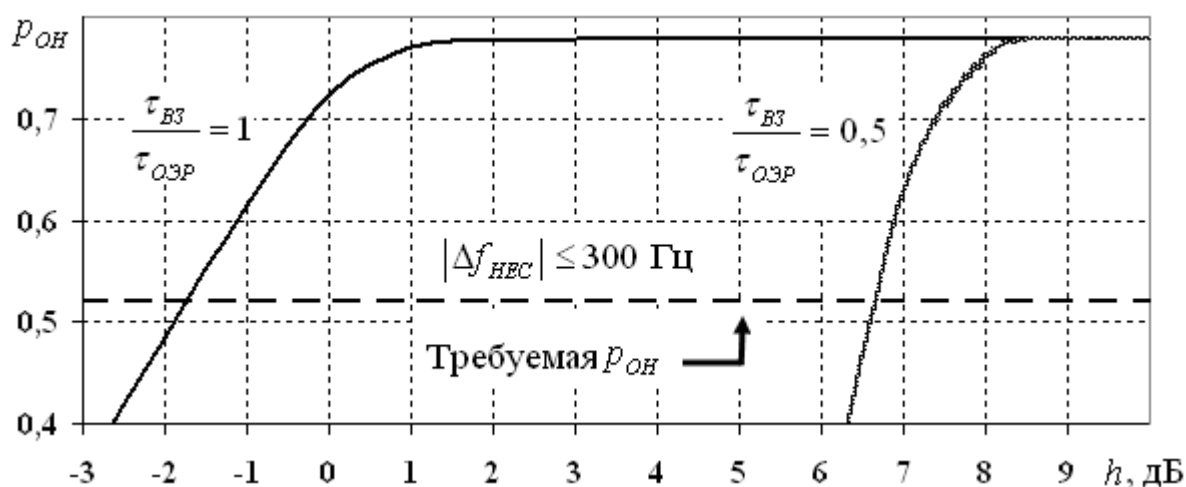


Рисунок 3 – Зависимость  $P_{ОН}$  от ОСШ

Анализ зависимости, представленной на рисунке 3, показывает, что при ОСШ равном 7 дБ и более, разработанный метод позволяет оценить несущие частоты ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ с точностью, удовлетворяющей требованию (2), при достоверности, удовлетворяющей требованию (3), при длительности вокализованного звука не менее половины длительности ОЭР. Однако известно, что длительность и вероятность встречаемости вокализованных звуков значительно превышает длительность и вероятность встречаемости невокализованных. Это позволило сделать вывод о

возможности достижения требуемой разборчивости речи (1) на основе разработанного метода.

В четвертом разделе представлена методика, включающая разработанные методы и позволяющая достичь на их основе требуемой разборчивости речи при радиоперехвате рассматриваемых сигналов в условиях высокой загрузки ПП РПУ, характерной для диапазона ВЧ. Разработанные методы включены во 2-й и 4-й этап методики (рисунок 4).

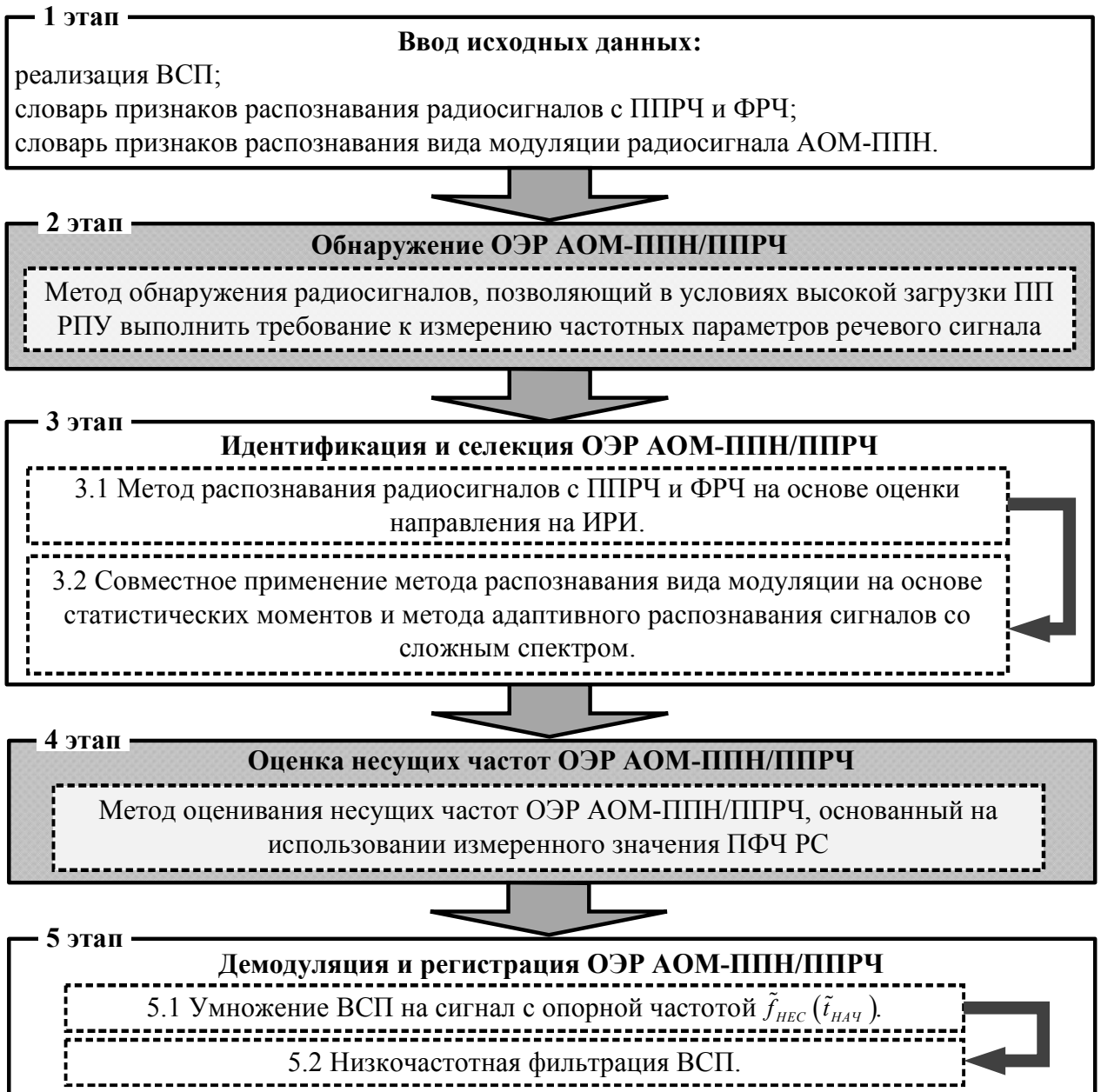


Рисунок 4 – Схема разработанной методики

На основе анализа методов, включенных в разработанную методику, установлено, что слоговая разборчивость речи в перехваченном сообщении

зависит не только от достоверности обнаружения ОЭР и достоверности оценивания его несущей частоты, но и от достоверности правильной идентификации ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ. При этом последовательное решение перечисленных частных задач обуславливает следующую зависимость  $S_{PI}$  от параметров характеризующих методы, включенные в разработанную методику

$$S_{PI} = p_{OBN} \times p_{ППРЧ} \times p_{РВМ} \times p_{ОН} \times 100\%, \quad (12)$$

где  $p_{ППРЧ}$  – вероятность правильного распознавания радиосигнала с ППРЧ, принадлежащего одному ИРИ, характеризует достоверность правильного распознавания радиосигналов с ППРЧ и ФРЧ, а также достоверность правильного различения ИРИ, использующих режим ППРЧ;  $p_{РВМ}$  – вероятность правильного распознавания вида модуляции ОЭР.

На основе формулы (12) рассчитана потенциальная слоговая разборчивость речи, достигаемая при различных значениях ОСШ. При проведении расчетов использованы значения  $p_{ППРЧ}$ , представленные в работе А. О. Чемарова, значения  $p_{РВМ}$ , представленные в работе Л. А. Гигало, теоретическая зависимость  $p_{OBN}$  от ОСШ (рисунок 2, а), зависимость  $p_{ОН}$  от ОСШ, рассчитанная при условии  $\tau_{ВЗ}/\tau_{ОЭР} = 1$  (рисунок 3).

Экспериментальное оценивание помехоустойчивости разработанной методики (рисунок 5, а), а также зависимости слоговой разборчивости от загрузки ПП РПУ (рисунок 5, б) произведено на основе артикуляционного метода и метода парных сравнений. Требования к проведению экспериментов на основе перечисленных методов подробно представлены в ГОСТ Р 50840-95 «Передача речи по трактам связи. Методы оценки качества, разборчивости и узнаваемости». При проведении эксперимента требования ГОСТ выполнены в полном объеме.

Анализ зависимостей, представленных на рисунке 5, показывает, что использование в методике разработанных методов обнаружения и оценивания несущих частот ОЭР АОМ-ППН/ППРЧ позволяет в условиях высокой загрузки ПП РПУ (до 90 %) получить выигрыш в слоговой разборчивости речи до 40 % при величине ОСШ 9 дБ и более. Это свидетельствует о решении научной задачи и достижении цели исследования.



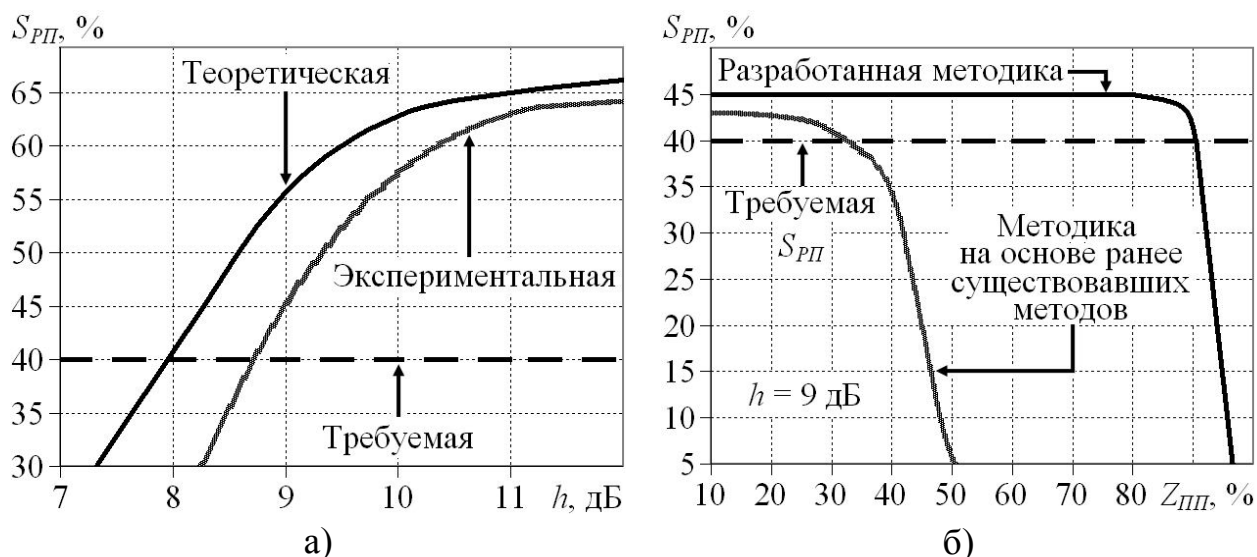


Рисунок 5 – Зависимость  $S_{PP}$  от а) ОСШ и б) загрузки ПП РПУ

В **заклучении** кратко изложены общие выводы о проделанной работе и приведены основные результаты диссертационных исследований.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан метод обнаружения радиосигналов, основанный на использовании в качестве порога решения сглаженной оценки энергетического спектра, позволяющий в условиях высокой загрузки ПП РПУ (до 90 %) выполнить требование к измерению частотных параметров речевого сигнала.

2. Разработан метод оценивания несущих частот отдельных элементов радиосигнала АОМ-ППН/ППРЧ, основанный на использовании измеренного значения первой формантной частоты речевого сигнала, позволяющий обеспечить требуемую разборчивость речи в принятом сообщении (более 40 %).

3. Разработана методика обеспечения семантического доступа к речевым сообщениям, включающая разработанные методы обнаружения радиосигналов и оценивания несущих частот, позволяющая достичь требуемой разборчивости речи при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с АОМ-ППН/ППРЧ.

4. Разработано и реализовано в комплексах радиомониторинга специальное программное обеспечение, позволяющее повысить результативность добывания информации при радиоперехвате сигналов диапазона ВЧ с АОМ-ППН/ППРЧ.

**ОПУБЛИКОВАННЫЕ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ****В изданиях, рекомендованных ВАК**

1. Калмычков, И. Е. Селекция сигналов с частотной манипуляцией / И. Е. Калмычков, О. А. Нохрин, В. В. Печурин // Научно-технические технологии. – 2009. – Т. 10, № 12. – С. 11 - 14.

2. Калмычков, И. Е. Метод расчета порога обнаружения при параллельном обзоре полосы частот / И. Е. Калмычков, О. А. Нохрин // Научно-технические технологии. – 2010. – Т. 11, № 9. – С. 14 - 19.

3. Калмычков, И. Е. Методика приема радиосигналов с аналоговой однополосной модуляцией, излучаемых в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты / И. Е. Калмычков, О. А. Нохрин // Научно-технические технологии. – 2011. – Т. 12, № 8. – С. 14 - 17.

**Патент на изобретение**

4. Пат. 2429494 РФ, МПК G 01 R 23/18. Способ обнаружения множества узкополосных радиосигналов в широкой полосе частот / И. Е. Калмычков [и др.] – № 2010124535/28; заявлено 15.06.2010; опубл. 20.09.2011.

**В других изданиях**

5. Калмычков, И. Е. Селекция радиосигналов с аналоговым модулирующим сигналом, передаваемых в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты / И. Е. Калмычков // Материалы XXXVIII Военно-научной конференции молодых специалистов института. – Череповец, 2010. – С. 104 - 109.

6. Калмычков И. Е. Обнаружение радиосигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты при обзоре полосы частот параллельным методом в условиях высокой загрузки полосы пропускания радиоприемного тракта // Материалы XI Межвузовской заочной научно-практической конференции молодых ученых / Отв. ред. В. В. Заболотина. – Череповец: ГОУ ВПО ЧГУ, 2010. – С. 7 - 15.

7. Калмычков, И. Е. Метод восстановления несущей радиосигнала с аналоговой однополосной модуляцией, передаваемого в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты / И. Е. Калмычков // Материалы XIX межвузовской военно-научной конференции: 25 - 26 ноября 2010 года. Часть 3. – Череповец: фил. ВКА им. А. Ф. Можайского, 2011. – С. 24 - 29.

8. Калмычков И. Е. Методика обнаружения и демодуляции радиосигналов с аналоговой однополосной модуляцией, передаваемых в режиме псевдослучайной перестройки рабочей частоты / И. Е. Калмычков // Материалы XIX межвузовской военно-научной конференции: 25 - 26 ноября 2010 года. Часть 3. – Череповец: фил. ВКА им. А. Ф. Можайского, 2011. – С. 29 - 35.