

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники

УДК \_\_\_\_\_

Бобров  
Юрий Леонидович

Математические модели расчета базовых  
показателей спутниковых систем

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

по специальности 1-45 80 01 Системы, сети и устройства  
телекоммуникаций

Научный руководитель

Липкович Эдуард Борисович

доцент кафедры СТК

Минск 2016

Библиотека БГУИР

Нормоконтроль  
Ткаченко Анатолий Пантелеевич

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Спутниковые технологии многопрограммного цифрового телерадиовещания, обмена информацией и высокоскоростного доступа к медиаресурсам обладают уникальной возможностью охватить высококачественным обслуживанием значительное число пользователей, в том числе находящихся в районах со сложным рельефом местности, невысокой плотностью населения и низким уровнем развития наземной телекоммуникационной инфраструктуры.

Спутниковый интерактивный доступ к мультимедийным ресурсам считается одним из перспективных направлений в спутниковой отрасли. К настоящему времени созданы специализированные высокоинформативные спутниковые сети (Ka-Sat, Astra2Connect, HughesNet, ViaSat и др.) и выведено на орбиту достаточно большое число спутников с радиостволами мультимедийных услуг, включая российские спутники Экспресс-AM5/AT2 (140° в.д.), Экспресс-AM6 (53° в.д.), Экспресс-AM8 (81° з.д.). В значительной части спутников используются радиостволы Ka-диапазона частот (27,5...31,0 ГГц на линии «вверх» и 17,7...21,2 ГГц на линии «вниз»), что объясняется их широкополосностью (150...400 МГц) и высокой энергетической эффективностью при условии обеспечения допустимой плотности потока мощности у поверхности.

Заметный удельный вес спутниковых сетей связи среди других наземных телекоммуникационных средств доставки информации объясняется высоким качеством передаваемых сигналов, гибкостью решений при организации радиосвязи и значительной рентабельностью при их развертывании.

Известно, что для построения спутниковой сети связи, необходимо провести тщательный анализ радиоканала, по которому будет осуществляться передача информации. Данный анализ включает в себя расчет потерь на распространение сигнала, энергетических параметров радиолинии, электромагнитной совместимости оборудования.

Основными задачами диссертационной работы является нахождение математических моделей базовых показателей спутниковых систем.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Цифровые спутниковые системы (ЦСС) совершенствуются как в части функциональных возможностей, так и в части технических и качественных показателей. К настоящему времени существенно улучшена чувствительность приемных устройств за счет использования двухблочного способа построения, исключая волноводный тракт с потерями. Снижена выходная мощность передатчика станций и повышена достоверность приема благодаря применению помехоустойчивых кодов с высокой исправляющей способностью. В ряде моделей ЦСС применены адаптивные методы борьбы с потерями на радиолиниях из-за погодных условий приема путем изменения параметров

кодирования под требуемые значения отношений несущая/шум на входе приемного устройства. В соответствии с общей тенденцией улучшения характеристик станций ставится задача улучшения не только энергетических, а также и качественных показателей, таких как: достоверность приема, готовность оборудования, показатели по ошибкам.

В диссертационной работе излагаются основные положения по принципам построения сетей VSAT, используемым технологиям и протоколам в данных сетях. Рассматривается стандарт DVB-S2, его основные особенности и возможные реализации. Также рассматривается режим работы стандарта DVB-S2 совместимый с DVB-S. Приводятся теоретические положения по вопросам помехоустойчивого кодирования и многопозиционной модуляции, разрабатываются математические модели расчета помехоустойчивости приемных систем, дается оценка качественным показателям.

В диссертационной работе ставятся и решаются следующие задачи:

разработка математических моделей для расчета энергетических параметров спутниковой радиолинии;

разработка математических моделей при расчете помехоустойчивости ЦСС с многопозиционными видами модуляции и помехоустойчивым кодированием;

разработка математических моделей для расчета системных показателей приемного оборудования;

получение расчетных формул для определения информационной эффективности и выигрыша от применения сверточного кодирования;

исследование методов оценки качественных характеристик радиоканалов и трактов;

анализ показателей готовности оборудования и уровня ошибок при наличии потерь на пути распространения сигнала, неточности наведения антенн, помех со стороны соседних спутников.

## БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет исследования, указана теоретико-методологическая основа.

Первая глава «Анализ технологий интегрированных спутниковых систем связи, критерии эффективности спутниковых каналов сетей VSAT» включает общие положения по состоянию в области спутниковых сетей связи и состоит из группы подразделов.

В подразделах первой главы производится анализ топологий сетей VSAT. Рассматриваются их основные достоинства и недостатки. Производится сравнение различных технологий множественного доступа, которые получили широкое распространение в сетях VSAT. Помимо этого, рассматриваются протоколы передачи данных, без которых реализация данных сетей была бы

невозможна. Наибольшее распространение получили протоколы TCP и UDP. Также рассматриваются протоколы повторной передачи данных в ИССС на базе VSAT.

Вторая глава «Обзор стандарта второго поколения DVB-S2» включает в себя рассмотрение данного стандарта и состоит из группы подразделов. В подразделах второй главы рассматриваются схемы модуляции и способы помехозащитного кодирования применяемые в стандарте DVB-S2. Производится анализ режима работы стандарта DVB-S2 совместимого с DVB-S. Излагаются основные моменты адаптивного кодирования и модуляции стандарта DVB-S2.

Третья глава «Расчет параметров перестройки и наведения антенны на геостационарные спутники» несет в себе общие положения по расчету параметров наведения антенны на геостационарные спутники. В данной главе приведены математические модели для расчета угла места и азимута антенны, а также для расчета погрешностей наведения антенны.

Четвертая глава «Расчет энергетических параметров спутниковой радиолинии» включает в себя математические модели для расчета потерь мощности на пути распространения сигнала между спутником связи и земной станцией. Причины данных потерь обусловлены расходимостью фронта излучения в свободном пространстве, поглощением энергии в атмосфере, тумане, дождях и мокром снеге, неточностью наведения антенны ЗС на ИСЗ и несоответствием плоскостей поляризации антенн ИСЗ и ЗС.

В зависимости от типа спутниковой службы, диапазона рабочих частот и способа приема расчеты потерь в осадках проводятся с учетом требований на допустимый процент времени снижения качества принимаемых сигналов для среднего года  $T_r(\%)$  или наихудшего месяца года  $T_m(\%)$ . Основой для расчета потерь в осадках служит Рек. МСЭ-РР.618-10.

Цель проводимых расчетов состоит в определении суммарных потерь на спутниковой радиолинии, величины плотности потока мощности (ППМ) у поверхности Земли и ЭШТ приемной антенны.

Глава пятая «Расчет системных показателей приемного оборудования» включает в себя математические модели для расчета системных показателей приемного оборудования.

Целью главы являются определение базовых показателей приемных систем при организации многопрограммного спутникового вещания, высокоскоростной доставки мультимедийных данных в адрес пользователей, телеметрии и контроля. Среди определяемых параметров: ЭШТ приемного оборудования, уровни входных сигналов, энергетический выигрыш от кодирования (ЭВК), спектральная и информационная эффективности, число программ в радиоканале, диаметр и конструктивные параметры приемной антенны.

Глава шестая «Определение выходной мощности передатчика земной станции и параметров бортового ретранслятора» состоит из нескольких

подразделов, в которых представлены математические модели необходимые для данного расчета.

Расчет выходной мощности передатчика ЗС1 в спутниковых системах с прямой ретрансляцией сигналов основывается на определении требуемого значения ОНШ на входе ИСЗ, при котором помехоустойчивость ЗС2 под действием тепловых шумов и продуктов нелинейных искажений ретранслятора находится в заданных пределах. Наибольшее влияние на помехоустойчивость ЗС2 оказывает ретранслятор, когда в нем используется многосигнальный режим передачи и усилитель мощности (например, на ЛБВ) работает в нелинейном режиме, вызывая рост интермодуляционных продуктов, расширение спектра модулированных сигналов и снижение достоверности приема. В расчетах учитываются негативное влияние многосигнального режима на ЛБВ в виде отступлений мощности по входу и выходу.

Также в данной главе приведен порядок расчета сетевых показателей при использовании VSAT-станций.

Глава седьмая «Влияние помех геостационарных спутников на помехоустойчивость приемных систем» включает в себя вопросы снижения достоверности приема при наличии помех со стороны геостационарных спутников и состоит из двух подразделов. Во втором подразделе произведен расчет, целью которого является:

определение защищённости приемной станции  $A_{з\Sigma}$  от совокупного действия помех мешающих ИСЗ;

проверка выполнения условия совместимости сетей для принятия решения о необходимой коррекции размеров приемной антенны;

определение уровня снижения ОНШ на входе ПС  $\Delta r_{\Pi}$  из-за помех со стороны мешающих ИСЗ.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базируясь на выполненных в диссертационной работе теоретических исследованиях в направлении построения спутниковых сетей передачи мультимедийных данных с использованием станций VSAT, математических моделей для расчета энергетических, спектральных, информационных, системных и сетевых характеристик можно сделать следующие выводы:

– проведен подробный анализ концепции построения спутниковой сети интерактивного доступа к информационным ресурсам с использованием станций типа VSAT;

– получены математические соотношения увязывающие энергетические показатели цифровых спутниковых систем с параметрами модуляции, сверточного кодирования и требуемой достоверности приема;

– получены расчетные формулы для определения энергетического выигрыша от кодирования сверточным кодом при использовании многопозиционной квадратурной модуляции;

– выполнен анализ качественны характеристик цифровых каналов и трактов по критериям готовности и качества по ошибкам;

– приведена методика расчета выходной мощности VSAT-станций и сетевых показателей.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Список использованных источников

[1] Морелос-Сарагоса, Р. Искусство помехоустойчивого кодирования: методы, алгоритмы, применение / Р. Морелос-Сарагоса; пер. с англ. – М.: Техносфера, 2005. – 320 с.

[2] Волков, Л. Н. Системы цифровой радиосвязи : базовые методы и характеристики : учеб. пособие / Л. Н. Волков, М. С. Немировский, Ю. С. Шинаков. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 392 с.

[3] Гаранин, М. В. Системы и сети передачи информации : учеб. пособие для вузов / М. В. Гаранин, В. И. Журавлев, С. В. Кунегин. – М. : Радио и связь, 2001. – 336 с.

### Список опубликованных работ

[А-1] Бобров, Ю. Л. VSAT-станция интерактивной спутниковой сети / Ю. Л. Бобров, Э. Б. Липкович // Современные средства связи: материалы XX Международной НТК, 14-15 октября 2015 г., г. Минск. – Минск.: УО ВГКС, 2015. – С. 96-97.