

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

УДК 621.396.946.2(076.5)

Джафаров Фуад Руфат

«Интерактивные спутниковые системы доступа к информационным ресурсам»

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 2015

Библиотека БГУИР

Нормоконтроль
Ткаченко Анатолий Пантелеевич

ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В настоящее время приобрели широкое развитие спутниковые технологии высокоскоростного обмена информацией между оборудованием потребителей услуг и опорными телекоммуникационными сетями наземного сегмента. Для реализации данной технологии операторы спутниковых сетей выделяют группу радиостволов или весь ресурс многофункциональных космических аппаратов, через которые организуется широкополосный доступ в интернет, видеоконференцсвязь, дистанционное обучение, репортажи с мест событий, удаленное видеонаблюдение и др.

В течение последних пяти лет в мире развернуто свыше десятка интерактивных высокоскоростных сетей, базирующихся на спутниках нового поколения HTS (High Throughput Satellites) с многолучевыми антеннами, сотовым покрытием территории и процессорной обработкой сигналов на борту. В результате принятых решений многократно увеличилась пропускная способность и энергетическая эффективность сетей. Вместо пропускной способности, характерной для традиционных спутников в 2...4 Гбит/с, спутники нового поколения за счет широкой полосы радиоканалов (250...450 МГц) обеспечивают 50..70 Гбит/с в Ka-диапазоне частот. Кроме того в этом диапазоне допускается высокая плотность потока мощности спутникового сигнала у поверхности Земли (от -115 до -105 дБВт/м² для углов мест приема от 0° до 90°), что позволяет реализовать высокий уровень эквивалентной изотропно -- излучаемой мощности (до 65 дБВт) при соблюдении требований на электромагнитную совместимость спутниковых и наземных средств. Несмотря на усложнение высокоинформативных спутников и рост их стоимости более чем в два раза (до \$450 млн.) благодаря их высокой пропускной способности снижены затраты на эквивалентную полосу, размеры приемных антенн и увеличена скорость доставляемых данных (4...8 Мбит/с) в адрес абонентов сети.

Целью диссертационной работы является исследование общих принципов построения и функционирования интерактивных спутниковых систем в Ka-диапазоне частот 20/30 ГГц.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В диссертации представлены исследования, касающиеся принципов построения и функционирования высокоинформативных спутниковых систем двустороннего обмена информацией и доступа к медиаресурсам в диапазоне 20/30 ГГц. Рассматриваемая тема относится к классу новых технических решений, способных существенно повысить пропускную способность спутниковой сети, охватить обслуживанием сотни тысяч абонентов и представить им услуги высокоскоростного обмена данными независимо от мест их размещения в зоне обслуживания спутником.

Проводимые исследования касаются общей архитектуры сети, состоящей из центральной станции сопряжения (ЦСС), спутникового сегмента и большого числа периферийных интерактивных терминалов. Рассмотрение проводится в соответствии с требованиями спутниковых стандартов DVB-S/S2, DVB-RCS и DVB-DSNG и включает способы множественного доступа к ИСЗ, вопросы инкапсуляции данных, канального кодирования, многопозиционных видов модуляции, персональной и потоковой доставки информации. Тщательному исследованию подлежит ЦСС, которая обеспечивает синхронизацию всей сети, управляет работой терминалов, ведет обмен данными в соответствии с транспортными и канальными протоколами.

В диссертационной работе ставятся и решаются задачи:

- детальный анализ структуры построения спутниковой интерактивной системы с центральной станцией сопряжения (ЦСС);
- подробные исследования подсистем ЦСС и интерактивных терминалов, образующих сеть интерактивного доступа к медиаресурсам;
- рассмотрение методов формирования транспортных потоков (в форматах сжатия видеоданных MPEG-4 и MPEG-4/H.264), двухступенчатого кодирования (PC+CK для DVB-S и BCH+LDPC для DVB-S2) и модуляции (QPSK, PSK-8, APSK-16 и APSK-32) с возможным изменением их параметров при неблагоприятных условиях приема;
- разработка методики расчетов системных и сетевых показателей.

БАЗОВЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы, даётся краткая характеристика её разработанности, определяются объект и предмет исследования, цель и задачи, указана теоретико-методологическая основа, отмечены элементы научной новизны, формулируются основные положения диссертации, выносимые на защиту. Первая глава «Спутниковые системы интерактивного обмена информацией: Принципы построения и функционирования» носит теоретический характер и состоит из следующих подразделов.

В подразделе 1.1. «Назначение и области применения систем» подробно описаны возможности VSAT станций и их применение в различных сферах деятельности. Спутниковые системы интерактивного обмена информацией с использованием VSAT-станций позволяют обеспечить взаимодействие очень широкого круга участников информационного обмена (вплоть до малых компаний и физических лиц) практически независимо от их географического расположения. При этом в отличие от систем сотовой связи достигается минимизация единовременных затрат и возможность организации любых видов информационного обеспечения абонентов (от обычного доступа к ресурсам Интернета и телефонии до интерактивного вещания), и в том числе удаленных от крупных мегаполисов и/или расположенных в регионах с низкой плотностью населения.

Одна из основных категорий клиентов сетей VSAT – это предприятия, имеющие подразделения, филиалы и производственные площадки там, где прокладка наземных каналов связи затруднена либо вовсе не возможна. Это объекты геологии и геофизики, газовой и нефтедобывающей/нефтеперерабатывающей промышленности, строительство дорог и мостов, воинские части, исправительные учреждения.[3]

В подразделе 1.2. «Международные стандарты и рекомендации» рассматривается стандарт ETSI EN 302 307 [5] системы второго поколения (DVB-S2) для видеовещания, интерактивных услуг, сбора новостей и других широкополосных спутниковых (SAT) приложений является дополнением к широко используемому стандарту SAT-вещания DVB-S. Новый стандарт был разработан консорциумом DVB Project, организацией, занимающейся разработкой стандартов в области цифрового телевидения для Европы и детально технически исследован Совместным техническим комитетом радиовещания Европейского Союза радиовещания, Европейским комитетом по электротехнической стандартизации CENELEC и Европейским Институтом Телекоммуникационных Стандартов ETSI.

DVB-S2 – это DVB спецификация, разработанная на базе отработанных технологий DVB-S и DVB-DSNG (DSNG – цифровая спутниковая видеожурналистика). Под DSNG обычно понимают передвижные системы

передачи TV информации с мест событий, именуемые системами сбора новостей. Система DVB-S2 разрабатывалась в основном для:

- услуг TV вещания стандартной четкости (SDTV) и TV высокой четкости (HDTV);
- интерактивных услуг, включая доступ в Интернет;
- профессиональных приложений.

Для всех этих приложений DVB-S2 использует последние достижения как в модуляции, так и в кодировании канала, что позволяет увеличить пропускную способность порядка 30% и более в сравнении с DVB-S.

Подраздел 1.3. Принципы интерактивности и взаимодействия между оконечными средствами связи включает в себя следующее: Интерактивная спутниковая система основывается на реализации двустороннего взаимодействия между поставщиками спутниковых услуг и пользователями, что позволяет вести обмен широкополосной информацией, обеспечить доставку программ цифрового спутникового вещания и управление функциями абонентских устройств [1].

В подразделе 1.4 рассматриваются различные топологии сети а также способ многостанционного доступа.

По сути имеется 3 топологические разновидности [2]:

- сеть типа «точка-точка» – простейший случай дуплексной линии связи между двумя удалёнными станциями;
- сеть типа «звезда» – для многонаправленного радиального трафика между центром сети и периферийными (удалёнными) пунктами связи;
- сеть типа «каждый с каждым» – для прямых связей между любыми пунктами сети связи.

Важным функциональным показателем системы является используемый способ множественного доступа удаленных терминалов к ИСЗ. Выбор конкретного варианта зависит от загрузки сети, объемов и видов предоставляемых услуг, активности работы пользователей в сети и др. Распространенными способами множественного доступа терминалов к ИСЗ являются: PAMA (Pre-assigned Multiple Access) – предоставление спутникового ресурса на постоянной основе; DAMA (Demand Assigned Multiple Access) – предоставление спутникового ресурса на время сеанса связи по требованию; SCPC (Single Channel Per Burst) – передача данных по каналу связи на одной несущей, MCPC (Multiple Channel Per Carrier) – передача объединенной группы данных пользователей на одной несущей; MF-TDMA (Multiple Frievanci – Time Division Multiple Access) – частотно-временное разделение каналов.

В подразделе 1.5 «Перспективы развития спутникового интерактивного доступа к информационным ресурсам» рассматривается следующее: одно из перспективных направлений развития спутниковых телекоммуникационных технологий связано с созданием VSAT-систем, позволяющих организовывать

широкополосные каналы связи в сети подвижных терминалов. Работа терминалов в движении позволяет решать задачи непрерывного управления и мониторинга различных мобильных средств, максимально соответствовать современным требованиям по комфортности жизнеобеспечения и оперативности доступа абонентов к информации.

Одной из основных мировых тенденций развития отрасли спутниковой связи в настоящее время является освоение Ka-диапазона. [3]

В подразделе 1.6 описываются технические характеристики спутника «Express Am 6».

Глава.2 «ОБОСНОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЕ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ».

Обмен информацией будет осуществляться через европейский спутник, работающий в Ka-диапазоне – «Express Am 6». Аппарат обеспечивает прямой выход в Интернет и используется для корпоративных сетей и местного вещания. При работе спутникового интернета используется VSAT оборудование, позволяющее организовать прямой и обратный каналы связи. Для организации многостанционного доступа в прямом канале.

Глава 3. «ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СТАНЦИИ СОПРЯЖЕНИЯ И ЕЕ АНАЛИЗ». В данной главе рассмотрены компоненты центральной станции сопряжения а также приведены её основные функции. В подразделе 3.2 представлены схемы взаимосвязи между устройствами станции сопряжения и периферийными абонентскими интерактивными терминалами

Глава 4. «ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АБОНЕНТСКОГО ИНТЕРАКТИВНОГО ТЕРМИНАЛА И ЕЕ АНАЛИЗ». В данной главе подробно рассмотрена структура интерактивного терминала (внешний и внутренний блоки), а также способы организации приема и передачи данных (подраздел 4.2).

Глава 5. «ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЛОКАЛЬНОЙ СЕТИ ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ». Гибридная сеть связи организуется на базе технических средств центральной станции сопряжения, космического сегмента, АИТ и локальной наземной сети (ЛНС). В зависимости от решаемых задач ЛНС строится по схемам проводных или беспроводных технологий с использованием соответственно адаптеров и волоконно-оптических линий, а также проводных линий базовых радиостанций для беспроводного доступа к сети. В подразделе 5.2 рассмотрены цифровые xDSL-модемы, как средства взаимодействия АИТ с оконечными устройствами локальной сети. Технология цифровой абонентской линии (DSL – Digital Subscriber Line) в последнее время стала одной из самых перспективных для решения проблемы доведения высокоскоростных информационных потоков до конечных пользователей.

Глава 6. «РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ».

Подраздел 6.1. Для наведения антенн приёмных или передающих систем на требуемый спутник необходимо знать две координаты: угол места (ε) и азимут (β). Угол места находится между горизонтальной плоскостью в точке приема и направлением на спутник.

Угол места $\varepsilon_T = 26,56^\circ$ был рассчитан по следующим формулам:

$$\varepsilon_T = \arctg[(-A + \cos\alpha)/\sin\alpha], \text{ град}$$

$\alpha = \arccos(\cos\psi \cdot \cos|\varphi_C - \varphi_3|)$, град, где φ_C и φ_3 - долготы спутника и точки приема.

Азимут (β) и азимутальное смещение ($\Delta\beta$) между направлениями на юг и на спутник

$$\beta = 180^\circ \pm \Delta\beta, \beta = 157,61^\circ$$

$$\Delta\beta = \arctg\left[\left(\operatorname{tg}|\varphi_C - \varphi_3|\right)/\sin\psi\right], \Delta\beta = 22,39^\circ$$

Подраздел 6.2. «Расчет потерь мощности сигнала в атмосфере и дождях»

$$a_\Sigma = a_0 + a_{\text{дон}}$$

$$a_0 = 92,4 + 20 \cdot \lg f_p + 20 \cdot \lg r$$

$$a_{\text{дон}} = a_{\text{АТМ}} + a_{\text{Д}} + a_{\text{Н}} + a_{\text{П}}$$

$$\alpha_\Sigma = 214,82 \text{ дБ}$$

Подраздел 6.3 «Расчет системных параметров оборудования»

Определена полная ЭШТ приемной системы на выходе облучателя антенны, обусловленную шумами антенны, волноводного тракта и приемника:

$$T_C = T_A + T_0 \cdot (10^{0,1 a_{\text{ВТ}}} - 1) + 10^{0,1 a_{\text{ВТ}}} \cdot T_{\text{ПР}}$$

$$T_C = 370,4 \text{ К}$$

Определим значения добротностей приемной системы в номинальном режиме работы ($D_{\text{ПР.Н}}$) и в режиме её аттестации ($D_{\text{ПР.А}}$):

$$D_{\text{ПР.Н}} = g_{\text{ПР1}} - 10 \cdot \lg T_C, \text{ дБ/К};$$

$$D_{\text{ПР.А}} = g_{\text{ПР1}} - 10 \cdot \lg \left[(0,1/d_{\text{ОФ}}) + 0,14 \cdot \lg f_{\text{СР}} + 10^{0,1(a_{\text{ВТ}} + n_{\text{Ш.К}})} - 0,83 \right] - 24,664, \text{ дБ/К}.$$

$$D_{\text{ПР.Н}} = 14,3 \text{ дБ/К} \text{ и } D_{\text{ПР.А}} = 19,2 \text{ дБ/К}.$$

Для определения мощности передатчика АИТ используется значение ОНШ на входе БР, которое рассчитывается через параметры приемной системы ЦСС. Взаимосвязь между требуемым значением $\rho_{БР}$ и параметрами ПС ЦСС устанавливает соотношение $\rho_{\Sigma,ЗС} = -10 \cdot \lg(10^{-0,1 \cdot \rho_{БР}} + 10^{-0,1 \cdot \rho_{ТР,ЗС}})$, дБ,

$$\rho_{БР} = 14,41 \text{ дБ}$$

$$\mathcal{E}_{ПД,ЗС} = \rho_{БР} + \alpha_{\Sigma} + 10 \cdot \lg \Delta f_{Ш,1} - D_{БР} - 228,6 \text{ дБВт},$$

где α_{Σ} – суммарные потери на линии АИТ-ИСЗ, дБ; $\Delta f_{Ш,1}$ – эквивалентная шумовая полоса БР, Гц.

$$\mathcal{E}_{ПД,ЗС} = 46,16 \text{ дБВт}$$

$$P_{ПД,ЗС} = 10^{0,1 \cdot (\mathcal{E}_{ПД,ЗС} - g_{ПД,ЗС} + a_{Ф,ПД})}, \text{ Вт},$$

Величина потерь в фидере определяется его длиной $l_{Ф,ПД}$ и погонными потерями $\gamma_{Пог.Ф}$:

$$a_{Ф,ПД} = \gamma_{Пог.Ф} \cdot l_{Ф,ПД}, \text{ дБ}.$$

Используя вышеуказанные формулы выходная мощность передатчика АИТ составляет $P_{ПД,ЗС} = 1,8 \text{ Вт}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Базируясь на проведенных в диссертационной работе теоретических исследованиях, касающихся принципов построения и функционирования высокоинформативных спутниковых систем двустороннего обмена информацией и доступа к медиаресурсам в диапазоне 20/30 ГГц, можно сделать вывод:

- определены достоинства цифровых интерактивных спутниковых систем Ka-диапазона, к числу которых можно отнести: высокую пропускную способность сети и абонентских каналов; высокий уровень допустимой плотности потока мощности поверхности земли (-115 до -105 дБВт/м²); относительно низкие абонентские затраты на эквивалентную полосу спутникового канала; сокращение информационного неравенства между пользователями телекоммуникационных услуг в городах и удаленных поселках;
- определена типовая структура построения центральной станции сопряжения Ka-диапазона. Установлены необходимые процедуры формирования потоков данных в прямом и обратном каналах при персональной и многоадресной передаче;
- определен механизм работы системы с адаптивным изменением параметров кодирования и модуляции при ухудшении условий распространения сигналов;
- определены механизмы взаимодействия центральной станции сопряжения с интерактивными терминалами пользователей с позиции эффективного использования пропускной способности сети;
- сформулированы предпосылки перехода к высокоинформативным спутникам с многолучевыми антеннами и с цифровой обработкой сигналов на борту.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

- Липкович, Э.Б. Функциональная модель организации спутникового мультимедийного вещания и обмена информацией/ Э.Б. Липкович, Ф.Р. Джафаров // Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МРТИ-БГУИР (Минск, 18-19 марта 2014 года) : материалы конф. В 2 ч. Ч.1. Минск : БГУИР, 2014. – С. 235-236.
- Липкович, Э.Б. Принципы высокоскоростного обмена информации в спутниковых сетях / Э. Б. Липкович, Ф.Р. Джафаров, Пытель А. Н. // 51-ая научная конференции аспирантов, магистрантов и студентов Учреждения образования «БГУИР» (Минск, 13-17 апреля 2015 года).
- Липкович, Э.Б. Функциональная модель центральной станции сопряжения интерактивной спутниковой сети / Э. Б. Липкович, В.В. Акуционок, Ф.Р. Джафаров // 51-ая научная конференции аспирантов, магистрантов и студентов Учреждения образования «БГУИР» (Минск, 13-17 апреля 2015 года).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Список использованных источников

- [1] Липкович, Э.Б. Проектирование и расчет систем цифрового спутникового вещания: учеб.- метод. пособие / Э.Б.Липкович, Д.В. Кисель. - Минск.: БГУИР, 2006. - 135 с.
- [2] Локшин, Б.А. Цифровое вещание: от студии к телезрителю. - М.: Компания Сайрус Системс, 2001. - 433 с.
- [3] Зубарев, Ю.Б., Кривошеев, М.И., Красносельский, И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы системы.- М.: НИИР, 2001. - 568 с.
- [4] Электромагнитная совместимость систем спутниковой связи / Под ред. Л.Я Кантора и В.В Ноздрина. - М.: НИИР, 2009. - 280 с.
- [5] **ETSI EN 302 307.** Digital Video Broadcasting (DVB); Second generation framing structure, channel coding and modulation systems for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2).
- [6] **ETSI EN 301 210.** Digital Video Broadcasting (DVB): Framing structure, channel coding and modulation for DSNG and other contribution applications by satellite.

- [7] **ETSI EN 300 421.** Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for 11/12 GHz satellite services (DVB-S)
- [8] Липкович, Э.Б.Спутниковое телевидение / Э.Б Липкович // Энциклопедия для школьников и студентов. В 12 т. Т1. Информационное общество. XXI век; под общ. ред. В.И Стражева. – Минск: Беларус. Энцыкл. імя П. Броуки, 2009. – 528 с. (С. 377-380).
- [9] СТБ 1822-2010. Цифровое телевизионное вещание. Цифровое звуковое вещание. Термины и определения.
- [10] ГОСТ 27.002-89. Аппаратура радиоэлектронная бытовая. Методы измерения электроакустических параметров. Изменение №1 введено 01.07.90.
- [11] Липкович, Э.Б. Системы наземного цифрового телевизионного вещания: метод. пособие / Э.Б Липкович. – Минск: БГУИР, 2011. – 84 с.
- [12] Быков, Р.Е. Основы телевидения и видеотехники. Учебник для вузов / Р.Е Быков. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 436 с.