

# Повышение эффективности использования спутникового ресурса Седунов Д. П.<sup>1</sup>, Привалов Д. Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Седунов Денис Петрович / Sedunov Denis Petrovich – младший научный сотрудник;

<sup>2</sup>Привалов Денис Дмитриевич / Privalov Denis Dmitrievich – кандидат технических наук, руководитель группы,  
группа разработки систем спутниковой связи,

АО Омский научно-исследовательский институт приборостроения «ОНИИП», г. Омск

**Аннотация:** проведен обзор методов предоставления множественного доступа к частотному ресурсу систем спутниковой связи. Даны рекомендации по их выбору в зависимости от требований, предъявляемых к системам спутниковой связи.

**Ключевые слова:** множественный доступ, искусственный спутник Земли, спутниковая связь, пропускная способность.

## Введение

Стоимость частотного ресурса, арендуемого у оператора геостационарных спутников связи, является существенной статьей затрат во всех случаях эксплуатации сетей и линий спутниковой связи. При определении арендной платы в качестве базовой составляющей принимается полоса частот, которую необходимо выделить для функционирования сети в час пик, а соответствующие этой полосе энергетические затраты учитываются с помощью повышающих коэффициентов. Необходимо максимально эффективно использовать всю предоставляемую полосу частот спутника-ретранслятора, т. е. обеспечить передачу наибольшего числа информационных символов на один герц полосы, а также, по возможности, не допускать использования в течение длительного времени только малой части представляемой полосы частот [1].

В настоящее время становятся востребованными системы спутниковой связи (ССС), предоставляющие широкополосный доступ в Интернет, поскольку они позволяют удовлетворить растущую потребность населения в получении различного рода информации и интерактивных услуг. Возможными решениями, направленными на минимизацию стоимости частотного ресурса таких ССС, являются:

- динамическое перераспределение полосы частот по требованиям между абонентскими станциями. При этом оно не должно приводить к значительному частотному уплотнению каналов связи и удорожанию системы;
- повышение пропускной способности спутниковых радиолиний и ограничение их энергетики [2; 3];
- оптимизация алгоритмов работы сетевых и транспортных протоколов, а также высокоуровневых приложений под работу в ССС.

Таким образом, повышение эффективности использования частотного ресурса геостационарного спутника-ретранслятора является важной и актуальной задачей, решаемой на этапе проектирования системы. Поэтому в работе даны рекомендации по использованию методов обеспечения множественного доступа, а также показаны современные подходы повышения пропускной способности, комплексное использование которых обеспечит ощутимый выигрыш при дальнейшей эксплуатации ССС, предоставляющих широкополосный доступ в Интернет.

## Методы предоставления множественного доступа

Как правило, каждая ССС основана на нескольких методах предоставления множественного доступа в зависимости от предъявляемых требований и типа трафика.

*Метод множественного доступа с частотным разделением (МДЧР)* [4–6]. Основным недостатком такого метода является необходимость выделения одному и тому же пользователю нескольких каналов с целью увеличения скорости передачи данных. В этом случае необходимо, чтобы модемное устройство пользователя было способно обрабатывать несколько частотных каналов приема. К достоинствам можно отнести относительную простоту реализации модемного оборудования.

*Метод множественного доступа с временным разделением (МДВР)*. К одному из главных достоинств этого метода можно отнести возможность предоставления одному пользователю нескольких каналов, просто выделив ему несколько временных интервалов. Основным недостатком является сложность обеспечения временной синхронизации всех пользователей.

*Метод множественного доступа с кодовым разделением (МДКР)*. Заключается в модулировании информационных сигналов различных пользователей с помощью расширяющих кодов. Однако при этом необходима многоступенчатая регулировка мощности излучаемых сигналов для каждого пользователя с целью выравнивания уровней принятых сигналов, вызванных пространственным разнесением пользователей. Этот факт оказывает существенное негативное влияние на работу усилителя мощности ретранслятора ИСЗ и определяет один из важных отрицательных моментов данного метода.

*Метод множественного доступа с пространственным разделением (МДПР)*. Пространственное

разделение реализуется с помощью многолучевой антенной системы, установленной на спутнике-ретрансляторе [4; 5]. Кроме того, применяются комбинированные методы, например метод множественного доступа с частотно-временным разделением (МДЧВР), который объединяет в себе преимущества методов МДЧР и МДВР [7].

В дальнейшем будем рассматривать методы МДЧР и МДВР как методы, получившие наиболее широкое распространение в ССС.

#### Топологии построения сети

ССС, содержащие несколько десятков абонентских станций, целесообразно строить по топологии «звезда» [8]. В этом случае все терминалы взаимодействуют друг с другом только через центральную земную станцию (ЦЗС). Преимуществом такого построения является обеспечение выполнения требований системы оперативно-розыскных мероприятий, предъявляемых к операторам системы связи при организации и проведении обслуживания абонентов. Кроме того, применяя на ЦЗС антенны большого диаметра и мощные передатчики, появляется возможность снижения стоимости абонентских станций за счет использования в них более дешевой и маломощной аппаратуры. При этом низкие значения энергетических характеристик абонентских станций компенсируются оборудованием ЦЗС [2]. Однако необходимо заложить высокий уровень надежности центральной станции, используя резервирование оборудования, что обуславливает ее высокую стоимость.

Проведем примерную оценку стоимости модемного оборудования, необходимого для построения ССС по топологии «звезда», с целью определения подходящего метода предоставления множественного доступа в зависимости от количества абонентов. При обеспечении работы сети по методу МДЧР необходимо каждому абоненту предоставить два частотных канала: один – на передачу, другой – на прием. Каждый канал будет работать на своей несущей частоте (один канал на несущую) [8]. На центральной станции для каждого абонента устанавливается по 1 модему. Таким образом, общее число модемов, необходимых для построения ССС по методу МДЧР, равно  $2N$ , где  $N$  – число абонентских станций (рис. 1). В принципе, канал передачи данных от ЦЗС к абонентской станции (прямой канал, outroute) можно организовать с помощью множества каналов на одну несущую, но это значительно повысит стоимость модемного оборудования ЦЗС, хотя и позволит заменить  $N$  модемов на передачу одним и динамически перераспределить трафик прямого канала между абонентскими станциями.

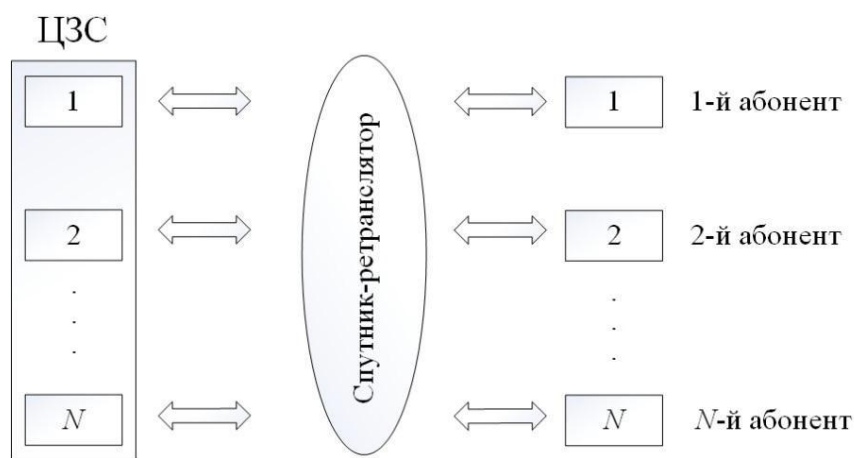


Рис. 1. Структурная схема построения ССС с частотным разделением абонентских станций

Для реализации связи по методу МДВР достаточно иметь на ЦЗС один модем, который будет осуществлять связь между всеми абонентами. Однако он должен быть достаточно высокоскоростным и обладать рядом дополнительных функций, например такой, как обеспечение синхронизации всех абонентских станций, поэтому его стоимость значительно превосходит стоимость терминальных модемов. Прямой канал работает в режиме временного уплотнения и обеспечивает динамическое перераспределение трафика. Как правило, прямой канал является широкополосным. На рис. 2 представлена структурная схема реализации метода МДВР. Видно, что в этом случае достаточно  $N+1$  модемов.

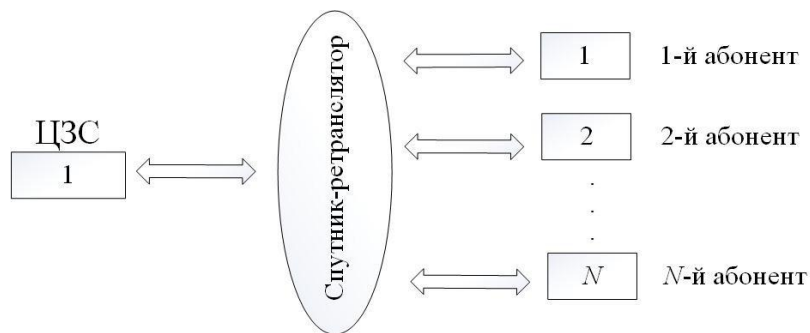


Рис. 2. Структурная схема построения ССС с временным разделением абонентских станций

На рис. 3 представлена средняя стоимость модемного оборудования, необходимого для построения ССС по топологии «звезда», поддерживающего методы МДЧР и МДВР, в зависимости от числа абонентов. В качестве примера использованы модемы UHP-1000 (ф. «Истар», Россия), HN1040 (ф. «Hughes Network Systems, LLC», США), PSM-4900L (ф. «Datum Systems», США), CDM-570L (ф. «Rusat», Россия). Как видно на рис. 3, метод МДЧР выгоден при наличии ограниченного количества абонентов (до 50 шт. в данном примере). При большом числе абонентов экономически выгодно ставить оборудование, поддерживающее метод МДВР. При этом в расчет не включается стоимость спутника-ретранслятора, поскольку один и тот же спутник-ретранслятор может использоваться как для технологии МДВР, так и для МДЧР.

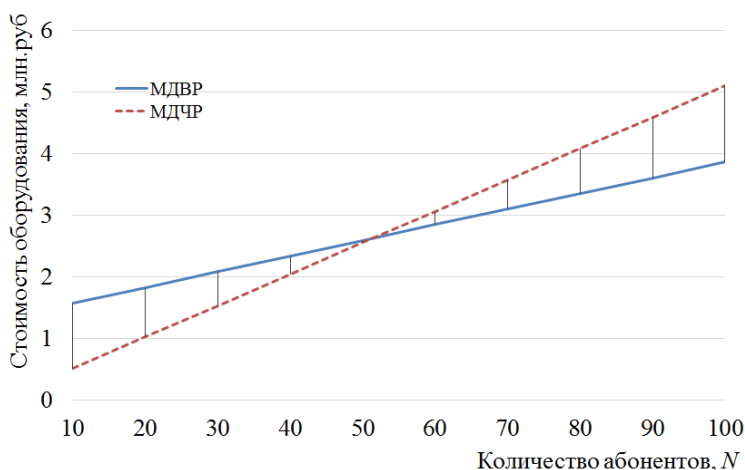


Рис. 3. Зависимость средней стоимости модемного оборудования, поддерживающего методы МДВР и МДЧР, от количества абонентов

Также для повышения эффективности использования емкости транспондера ИСЗ можно применять многостанционный доступ с предоставлением ресурса по требованию вместо обеспечения доступа на постоянной основе [4; 8]. Поскольку занимаемая системой связи полоса частот спутника-ретранслятора определяется в основном максимальной скоростью передачи информации всеми абонентскими станциями в период наибольшей нагрузки на сеть, то имеет смысл переназначать каналы тем абонентам, которые в данный момент требуют наибольшую скорость передачи данных. Для сети, работающей по методу МДЧР, в роли каналов выступают частотные каналы, а для сети, работающей по методу МДВР, – временные слоты (интервалы).

ССС, предоставляющая широкополосный доступ в Интернет, обладает значительной асимметрией трафика. Объем информации, пересылаемой со всех абонентских терминалов на ЦЗС, в несколько раз меньше объема информации, передаваемой самой ЦЗС. В этих сетях для передачи высокоскоростного (до 40 Мбит/с) потока данных от ЦЗС к абонентским терминалам используется широко применяемая технология DVB, а доступ терминалов к спутниковому сегменту (для передачи данных на ЦЗС) осуществляется по методу МДВР или МДЧВР [9].

#### Заключение

На основе проведенного анализа можно выделить следующие направления, обеспечивающие повышение эффективности использования частотного ресурса:

1. Топология построения сети – «звезда».

2. Обеспечение режима предоставления множественного доступа: МДЧР при числе абонентов  $N$  менее 50, МДВР – при  $N$  более 50.

3. Выделение каналов по требованию при работе абонентов в переменном режиме.

Таким образом, значительное повышение эффективности использования спутникового ресурса, влекущее за собой снижение капитальных и эксплуатационных расходов, можно достичь за счет совместного применения указанных методов, подходов и средств. Они должны максимально адаптировать разрабатываемую ССС под условия среды, в которой осуществляется передача данных, под задачи, которые ставятся перед оператором сети, под виды трафика и различные типы приложений и сервисов.

### *Литература*

1. Барсков А. Спутниковая связь: оптимизация на всех уровнях // Журнал сетевых решений/Телеком. – 2012. – № 4. – URL: <http://www.osp.ru/telecom/2012/04/13014750> (дата обращения: 27.08.2015).
2. Дятлов А. П. Системы спутниковой связи с подвижными объектами: учебное пособие. – Таганрог: ТРТУ, 1997. – Ч. 1. – 95 с.
3. Новак А. Э., Привалов Д. Д. Современные средства расчета энергетического бюджета спутниковых линий связи // Техника радиосвязи. – 2015. – Вып. 2 (25). – С. 11–21.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд., испр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
5. Голдсмит А. Беспроводные телекоммуникации: пер. с англ. – М.: Техносфера, 2011. – 904 с.
6. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь: пер. с англ. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
7. Пехтерев С. В., Андреев А. В., Ермакова Е. Ю. Выбор технологии и системы спутниковой связи для корпоративной или ведомственной связи // Сети и системы связи. – 2007. – № 7. – URL: [http://www.ccc.ru/magazine/depot/02\\_02/read.html?0201.htm](http://www.ccc.ru/magazine/depot/02_02/read.html?0201.htm) (дата обращения: 27.08.2015).
8. Salomon J. Handbook on Satellite Communications. – 3rd edition. – John Wiley & Sons. Inc., and ITU., 2002. – 1076 с.
9. Шахнович И. В. Современные технологии беспроводной связи. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Техносфера, 2006. – 288 с.