

Секция "Радиосвязь"

СОДЕРЖАНИЕ

ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА.....	2
ГОРОДСКАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, МОНИТОРИНГА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	5
ГОРОДСКАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА НА ОСНОВЕ МАЛОМОЩНЫХ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ СТАНЦИЙ.....	10
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХДИАПАЗОННЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА GSM.....	14
"ЧЕЛОВЕК С ТРУБКЕЙ" В ВЕРТИКАЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	17
СЕТИ СВЯЗИ С ПОЛНЫМ НАБОРОМ УСЛУГ НА ОСНОВЕ ПОЛИКОНЦЕТУАЛЬНОЙ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПРОБЛЕМЫ ЕЕ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ.....	20
ИНТЕГРАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ОПИСАНИЯ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.....	24
СПУТНИКОВЫЕ МОДЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ КАНАЛОВ ПО ТРЕБОВАНИЮ.....	27
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ВРАЩЕНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ГЕО И НЕО ОРБИТАХ.....	32
ВЫВОДЫ.....	35
ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СЕТЕЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТРУКТУР РФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	36
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В РЕГИОНАХ СО СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКОЙ.....	38
РОССИЙСКИЙ СЕГМЕНТ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРСКИХ СУДОВ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	41
ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ синхронизации УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ.....	45
МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕДОМСТВЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....	48
УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В СТРУКТУРЕ ЭФФЕКТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА ЗАКАЗЧИКА.....	53
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРНОГО И ЧАСТОТНОГО РЕСУРСОВ.....	56
СРЕДСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В РОССИИ, КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ.....	61
РОССИЙСКИЕ ФИРМЫ, РАБОТАЮЩИЕ В СФЕРЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ.....	63
ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, СОВМЕСТИМОСТИ И СОПРЯЖЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО И НОВОГО ПАРКА РАДИОСРЕДСТВ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ И ДРУГИХ МИНИСТЕРСТВ И ВЕДОМСТВ.....	66

ОЦЕНКА МОДЕЛЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МОБИЛЬНОЙ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ГОРОДА

Е. А. СТАХОВ, Г. И. ЩЕРБАКОВ, В. Р. ЛИНДВАЛЬ, В. Л. ТРОФИМОВ

Казанский Государственный технический университет им. А. Н. Туполева

In the report the questions of a choice of model of distribution of radio waves are considered at designing a mobile radio communication in conditions of dense urban building and results of experiment.

При проектировании систем сотовой радиосвязи возникает задача определения места установки и числа антенн базовых станций, что приводит к необходимости расчета значений электромагнитного поля в любой точке пространства в пределах зоны обслуживания. Этот расчет должен учитывать замирания и многолучевое распространение радиоволн в условиях города.

При расчете радиотрасса представляется в виде набора нескольких основных путей, по которым сигнал от антенны базовой станции поступает на антенну мобильного телефона, а на каждом из этих путей содержится конечное число элементов рассеивающих электромагнитные волны. В городских условиях обычно выделяют следующие элементы, влияющие на распространение радиоволн:

- Структуры типа проспектов, улиц, участков рек, контактных линий городского транспорта, линий электропередачи и т.д.;
- Свободное пространство;
- Здания и группы зданий;
- Земля и случайные препятствия на ней (городской транспорт, отдельные автомобили и др.);
- Участки растительности, в том числе парки, дворовые посадки и т.д.

Влияние перечисленных элементов на распространение радиоволн учитывается рядом методов: детерминированным, на основе методов физической и геометрической дифракции и численных методов; статистическим и комбинированным статистически-детерминированным.

Для расчета электромагнитного поля в условиях города первоначально использовались эмпирические графики Дж. Окамуры [1], которые позволили определять медианное значение сигнала в условиях статистически однородного города, а также учитывать особенности отдельных городских районов [2].

Известен ряд моделей [3], позволяющих предсказать основные потери передачи L на основании перечисленных выше работ. По данным, приведенным в [4] возможно с помощью этих моделей определить затухание на радио трассе с точностью $7 \div 17$ дБ.

Наряду с эмпирическими нашли применение статистические модели. Они базируются на аналитическом подходе, использующем формулы Кирхгофа [5] и модели многолучевого распространения УКВ в городе, учитывающей вероятность ориентации крупных отражателей, вероятность прохождения луча в зависимости от плотности застройки, а также случайность фаз лучей, пришедших к приемной антенне [6].

Учет влияния земли и случайных препятствий на ней приводит к сложной задаче, инженерное решение которой затруднительно даже при существенной идеализации [7].

Экспериментальные данные [8] показывают существенное влияние формы препятствий в непосредственной близости от вершины, учитываемой через радиус кривизны вершины.

Полное дифракционное ослабление на трассе с несколькими препятствиями складывается из ослаблений на каждом из препятствий за вычетом фактора взаимного влияния, причем на при расчете учитывается влияние соседних препятствий, а влиянием через препятствие пренебрегается как из-за удаленности, так и из-за экранирования промежуточным. Результаты расчетов дифракционного ослабления на трассах со многими препятствиями по этой модели достаточно близки к экспериментальным данным [9].

Однако в условиях современного города с интенсивным движением транспорта для повышения точности расчета также необходим учет ослабления, обусловленного дифракцией от различных транспортных средств. Величина отражений от транспортных средств видна из таблицы, где приведены результаты прямых измерений среднего значения эффективной поверхности рассеяния $\sigma_{ТС}$ под углом $\alpha = 0^0$ и его среднеквадратического значения σ [22].

Тип транспортного средства	$\sigma_{ТС}$ (м ²)	σ (м ²)
Легковые автомобили	260	550
Грузовые автомобили	3000	4900
Автобусы	900	1122
Троллейбусы	1050	1300

Расчет дифракции на телах сложной формы, какими являются транспортные средства целесообразно производить на основе метода локальных источников [10]. Многочисленные исследования [11], положенные в основу метода локальных источников показали, что отраженное поле в основном формируется отдельными, расположенными на поверхности источниками. Участки локального отражения представляют первые зоны Френеля на гладких выпуклых поверхностях, уголкового конструкциях, плоскости, направленных по нормали к поверхности излучения. Следовательно, отраженное объектом поле может быть описано выражением

$$u = \sum_{n=1}^N a_n \exp[i(\omega t - 2kR_n - \varphi_n)],$$

где: N- общее число локальных участков; a_n и φ_n - мгновенные значения амплитуды и фазы отраженного телом поля; R_n - расстояние от участка локального отражения до точки наблюдения; $k = 2\pi/\lambda$.

Порядок приближенного расчета эффективной отражающей поверхности (ЭПР) тела сложной формы состоит из: декомпозиции отражающего тела на элементы; аппроксимации участков их поверхности телами простой формы; вычисления ЭПР тел простой формы; объединения результатов для получения значения ЭПР сложного тела в целом. Известно несколько методов объединения результатов [10,12], из которых наиболее известны методы относительной и случайной фазы. В методе относительной фазы строго учитывается зависимость набега фазы между дифрагирующими полями в функции угла наблюдения, но значения фаз определить точно затруднительно. Это приводит к смещению положения экстремумов диаграммы рассеяния, хотя общая структура диаграммы воспроизводится достаточно точно. В методе случайной фазы интерференционный характер полей не учитывается, что исключает расчетные трудности, связанные с вычислением фаз полей, отражаемых от отдельных элементов тела, однако упрощение расчетной стороны приводит к усложнению интерпретации результатов расчета.

Влияние растительности на распространение радиоволн рассматривалось в ряде теоретических и экспериментальных работ [13]. Численные результаты показывают возможность уточнения расчета потерь на 4...5 дБ при учете влияния растительности.

Детерминированный подход базируется на представлении отдельных зданий и групп зданий в виде параллелепипедов с характерными размерами много большими длины волны [4,14]. Здания могут составлять группы, конфигурация которых часто встречается в пределах города. При прямой видимости сигнал в точке приема формируется путем суммирования рассеянной компоненты поля и прямой волны. В диапазоне ДМВ поперечный размер первой зоны Френеля для прямой волны обычно не превышает ширины городских магистралей, поэтому [4] расчет предлагается проводить по интерференционным формулам или по методу аналогичному расчету многощелевого нерегулярного волновода [16].

Из экспериментов известно [20], что дифрагирующие и однократно отраженные лучи являются основными только тогда, когда дифракционные потери малы. При значительном уровне потерь многократно отраженные лучи также должны учитываться.

Известен ряд двумерных моделей (Волфиш, Воглер, Хата). В модели Волфиша [15] профиль трассы распространения волны описывается промежутками между зданиями и углом в вертикальной плоскости α , а высоты зданий полагаются одинаковыми, что позволяет применять такую модель при малых значениях α и большом числе зданий. В модели Воглера [21] функция затухания представлена многократным интегралом с размерностью равной числу острых краев, на которых происходит дифракция, что позволяет использовать эту модель для зданий различной высоты, но при небольшом числе зданий в ряду.

Однако более точное представление о поле дают методы геометрической теории дифракции [16].

Также известны трехмерные методы [17, 18], вычислительная точность которых составляет 1÷5 дБ. Модель VPL [17] учитывает отражение от вертикальных поверхностей, дифракцию на вертикальных краях и горизонтальных кромках зданий в условиях однородной застройки. Однако метод VPL не учитывает лучи, прошедшие сквозь здания, диффузно рассеянные от стен и лучи, распространяющиеся над зданиями, что позволяет использовать его только для расчетов, соответствующих микросотовым системам.

Комплексный подход к определению поля, сочетающий детерминированные и статистические методы [19] наиболее адекватен для плотных типов застройки и точек наблюдения, удаленных от базовой станции. При таком подходе влияние всего дальнего окружения, полный учет которого детерминированными методами невозможен, оценивается статистически, а влияние ближних препятствий, определяющих зоны тени, рассчитывается детерминированными методами. В результате уменьшаются ошибки, и сокращается объем вычислительных работ.

Выводы

Несмотря на многочисленные теоретические и экспериментальные результаты сейчас невозможно выделить единую методику определения значений поля для радиотрасс в условиях города, дающую высокую точность совпадения с реальными измерениями. Статистические методы дают информацию о среднем значении поля с точностью порядка 10дБ, детерминированные методы, обладая более высокой точностью сложны и громоздки, что практически позволяет применять их только для расчетов внутри микросот.

Наиболее целесообразны для практики методы, сочетающие детерминированный и статистический подходы [15], однако их применение требует детальной оценки условий на возможной трассе. Развитие комплексного метода требует более детального выделения на трассе элементов, которые могут быть описаны с помощью детерминированного подхода и неоднородностей, носящих случайный характер, куда должны входить отражения обусловленные городским транспортом.

Литература

1. Okamura J. et al., Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Services, Rev. Inst. Elec. Eng., 1968, vol.16, № 9-10, pp.825-873.
2. Связь с подвижными объектами в диапазоне СВЧ, под ред. У.К. Джейкса, М.: Связь, 1979, 350 с.
3. Delise G.Y., Propagation Loss Prediction: A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel, IEEE Trans. Vehicle Technol., 1985, vol. VT-34, № 2, pp.86-95.
4. Распространение УКВ в городах, сб. статей по ред. Э.М. Квартиркина, ВИНТИ, Итоги науки и техники, сер. Радиотехника, 1992, т.42.
5. Пономарев Г.А. и др., Распространение УКВ в городе, Томск, МП Раско, 1991.
6. Варакин Л.Е., Статистическая модель многолучевого распространения в городе, Радиотехника, 1989, №12, с.56-61.
7. Ларин Е.А., Расчет дифракционного ослабления радиоволн на приземных трассах над пересеченной и горной местностью, Электросвязь, 1997, №1, с.17-20.
8. Троицкий В.Н., Распространение УКВ в городах, М.: Связь, 1968.
9. Neve M.J. and Rowe G. B., Mobile Radio Propagation Prediction in Irregular Cellular Topographies Using Ray-Tracing Methods, IEE Proc. Microwaves, Antennas and Propagation, 1995, vol.142, № 6, pp.447-451.
10. Штагер Е.А., Чаевский Е.В., Рассеяние волн на телах сложной формы, М.: Сов. Радио, 1974г.
11. Справочник по радиолокации, т.1, ред. М. Сколник, М.; Сов. Радио, 1976г.
12. Siegel K.M. et al., Methods radar cross analysis, Acad. Press, New-York-London, 1968.
13. Torrico S.A. et al., Modeling Tree Effects on Path Loss in a Residential Environment, IEEE Trans. AP, 1998, vol.46, №6, pp. 872-880.
14. Ваганов Р.Б., Каценеленбаум Б.З., Основы теории дифракции, Сер. Современные физико-технические проблемы, М.: Наука, 1982.
15. Wolfish J. Bertoni H.L., A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments, IEEE Trans. AP, 1988, vol. Ap-36, № 12, pp.1788-1796.
16. Mazar R. and Bronshtein A., Theoretical Analysis of UHF Propagation in City Street Modeled as a Random Multistage Waveguide, IEEE Trans. AP, 1998, vol. 46, №6, pp.864-871.
17. Liang G. and Bertoni H.L., A New Approach to 3-D Ray Tracing for Propagation Prediction in Cities, IEEE Trans. AP, 1998, vol.46, №6, pp. 853-863.
18. Russel T. A. et al., Deterministic Approach to Predicting Microwave Diffraction by Buildings for Microcellular Systems, IEEE Trans. AP, 1993, vol. 41, №12, pp.1640-1649.
19. Панченко В.У., Гайнутдинов Т.А., Ерохин Г.А., Сочетание статистических и детерминистских методов расчета радиополя в городских условиях, Электросвязь, 1998, №4, с.31-33.
20. Ikegami F. et al., Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio, IEEE Trans. AP, 1991, Vol.39, № 3, pp.299-302.
21. Vogler L.E., An Attenuation Function for Multiple Knife-Edge Diffraction, Radio Science, 1982, vol.17, № 6, pp.1541-1546.
22. Егоров Ю.М. и др., Дистанционный контроль скорости движения транспортных средств, М.: Транспорт, 1987г.

ГОРОДСКАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ, МОНИТОРИНГА И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Я. С. УРЕЦКИЙ, Л. П. БАРЫШНИКОВ, М. А. ВАЛЕЕВ, А. П. КАРЛОВСКИЙ,
П. В. КУПЕРШМИДТ

Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева

Abstract The joint municipal system for locating, monitoring and traffic control the vehicles are proposed and discussed. The system is based on the multizone radiotechnical infrastructure for reception and transmission the vehicle's signals to the base station for locating and displaying the vehicles on the computer map and dispatching.

В последнее время возрастающие потребности городских служб пожарной охраны, безопасности движения и охраны правопорядка, служб спасения людей и скорой медицинской помощи, охраны окружающей среды, городских служб пассажирских и грузовых перевозок и др. в повышении эффективности их совместного функционирования в условиях практически полной исчерпанности радиочастотного ресурса приводят к необходи-

мости создания единой городской межведомственной малоэнергетической инфраструктуры радиотехнических средств, позволяющей решать задачи определения местоположения и идентификации транспортных средств, сбора, передачи и обработки этой информации на диспетчерские пункты с целью ее отображения на электронных картах города с применением развитых геоинформационных технологий. При этом среди указанных задач центральной является определение местоположения подвижных объектов в условиях города.

Современные методы определения местоположения подвижных объектов, базирующиеся, как правило, на использовании неэнергетических параметров радиосигналов в качестве информационных [1], позволяют с помощью нескольких опорных станций определить с достаточно высокой точностью координаты объектов, находящихся в условиях свободного пространства. Однако при обслуживании обширных территорий эти методы требуют применения передатчиков большой мощности и, кроме того, в урбанизированных условиях, характеризующихся при соответствующих частотах многолучевым распространением радиоволн, а, следовательно, существенно «изломанными» траекториями их распространения, указанные методы приводят к значительным погрешностям измерений. Переход на более низкие частоты затруднен вследствие занятости этого диапазона частот, а также неизбежного ухудшения всех массогабаритных показателей элементов системы и уменьшения информационной емкости. В связи с этим непосредственное использование получивших широкое распространение, в частности, в авиации, различных классических угломерно-дальномерных, разностно- и суммарно-дальномерных и др. радионавигационных методов для решения задач позиционирования подвижных объектов в условиях городской местности нецелесообразно.

Для определения местоположения подвижных объектов, находящихся в условиях городской местности, применяют также спутниковые системы позиционирования, например GPS [2]. Однако в настоящее время эти системы являются весьма дорогостоящими. Кроме того, они позволяют определить координаты лишь того объекта, на котором размещен GPS-приемник, в связи с этим для передачи информации о результатах измерений на диспетчерские пункты с целью мониторинга и диспетчеризации подвижных объектов спутниковые системы требуют применения дополнительных средств передачи данных. Поэтому спутниковые системы позиционирования, дополненные соответствующими телекоммуникационными системами, можно использовать для наиболее ответственных и немногочисленных объектов, однако их массовое применение для обслуживания городских транспортных средств различных служб и ведомств является экономически нецелесообразным.

Перспективным представляется подход, заключающийся в том, что на обслуживаемой территории размещают достаточно большое количество базовых станций, которые осуществляют регистрацию сигналов подвижных объектов, находящихся в зонах действия этих базовых станций, и передают на диспетчерские пункты соответствующую информацию, на основе которой проводят идентификацию подвижных объектов, определение их местоположения, мониторинг и диспетчеризацию. При этом местоположение подвижного объекта определяют как область позиционирования Ω_M , являющейся областью обслуживаемой территории, образованную перекрытием зон действия базовых станций, в которых находится данный подвижный объект:

$$M_{x,y} \in \Omega_M = \bigcap_{k=1}^K \Omega_k, \quad \Omega_k : P_{k \text{ вх.}} > P_{k \text{ мин}}, \quad (1)$$

где $M_{x,y}$ – координаты подвижного объекта; Ω_k – зона действия k базовой станции, в которой находится подвижный объект; K – количество таких зон.

Под зоной действия базовой станции понимаем в данном случае зону чувствительности, т.е. территорию, находясь в пределах которой, подвижный объект, создает при излучении постоянной мощности на входе приемника базовой станции сигналы мощностью $P_{k \text{ вх}}$, превышающей некоторую пороговую величину $P_{k \text{ мин}}$.

Если предположить, что распространение радиоволн происходит в свободном пространстве, причем подвижные объекты осуществляют ненаправленное излучение, а базовые станции – ненаправленный прием, то радиус зоны чувствительности k базовой станции представляет собой круг радиуса R_k с центром в точке размещения базовой станции. При этом координаты подвижного объекта, в соответствии с выражением (1), определяют из решения неравенства

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 - (y-y_1)^2 \leq R_1^2, \\ (x-x_2)^2 - (y-y_2)^2 \leq R_2^2, \\ \dots \dots \dots \\ (x-x_k)^2 - (y-y_k)^2 \leq R_k^2, \\ \dots \dots \dots \\ (x-x_K)^2 - (y-y_K)^2 \leq R_K^2 \end{cases} \quad (1a)$$

где (x_k, y_k) – координаты базовой станции, в зоне действия которой находится подвижный объект.

Как следует из выражений (1) и (1a) для уменьшения области позиционирования, а, следовательно, для увеличения точности позиционирования необходимо увеличивать число зон действия базовых станций, образующих перекрытия. При этом большое количество базовых станций с достаточно обширными и незначительно смещенными друг относительно друга перекрывающимися зонами действия позволяют получить высокую точность позиционирования. Однако, очевидно, ту же точность позиционирования можно получить и с помощью меньшего числа базовых станций и зон действия меньшего размера. В связи с этим исследуем вопрос о рациональном выборе параметров размещения базовых станций для обеспечения заданной точности позиционирования подвижных объектов.

Прежде всего рассмотрим идеализированную ситуацию, при которой обслуживаемая территория представляет собой достаточно протяженный участок прямолинейной трассы с размещенными на ней базовыми станциями. Все базовые станции имеют равные радиусы R зон действия, значительно превышающие ширину трассы (рис. 1), и размещены эк-

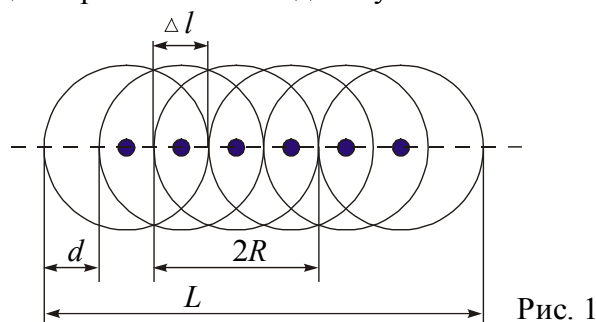


Рис. 1

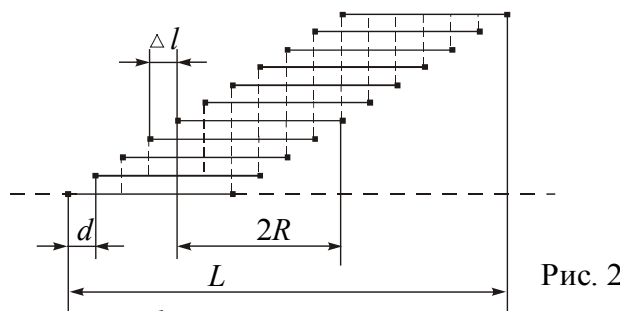


Рис. 2

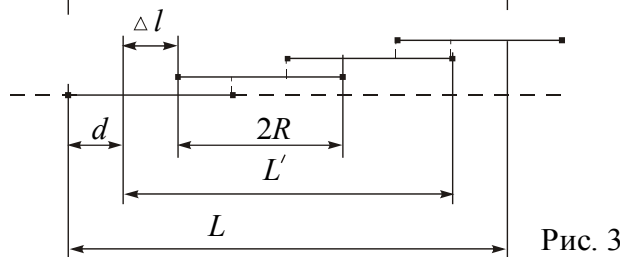


Рис. 3

видистантно со смещением зон действия вдоль трассы, равным d , протяженность трассы равна L . Ширина Δl области позиционирования Ω_M , измеренная вдоль трассы, определяет точность позиционирования подвижного объекта, находящегося в пределах этой области. Задача заключается в том, чтобы для заданных значений L и Δl найти такие значения d и R , при которых общее количество базовых станций N было бы минимальным.

Поскольку решаемая задача сведена к одномерной, представим зоны действия базовых станций в виде отрезков, длины которых равны диаметрам зон. При этом для удобства анализа зоны действия будем отображать смещенными друг относительно друга по вертикали соответствующими горизонтальными отрезками (рис. 2,3). Как видно из этих рисунков, при $d < R$ в каждой точке трассы число перекрывающихся зон действия больше двух, при $R < d < 2R$ – не больше двух.

Вначале рассмотрим случай $d < R$ (рис.2). Пусть величина относительного смещения зон действия вдоль трассы в целое число раз меньше их диаметра: $d = d_m = \frac{2R}{m}$, где $m = 1, 2, 3, \dots$ целое положительное число. Тогда число образующихся областей позиционирования равно

$$K_m = N_m + m - 1, \quad (2)$$

где N_m – число базовых станций при заданном m .

При этом все области позиционирования имеют одинаковую ширину Δl , равную точности позиционирования, и радиус зоны действия каждой базовой станции в зависимости от величины m равен

$$R_m = \frac{m\Delta l}{2}. \quad (3)$$

Число базовых станций, необходимых для обслуживания трассы L , определяется соотношением

$$L = d_m(N_m - 1) + 2R_m. \quad (4)$$

Таким образом,

$$N_m = m \frac{L - 2R_m}{2R_m} + 1. \quad (5)$$

Как следует из соотношений (2) – (5), при уменьшении величины относительного смещения базовых станций вдоль трассы увеличивается точность позиционирования, однако это приводит к соответствующему увеличению числа базовых станций.

Отметим, что при $m = 1$ зоны действия базовых станций не перекрываются, причем областями позиционирования являются соответствующие зоны действия базовых станций: $R_1 = \frac{\Delta l}{2}$, $N_1 = \frac{L}{2R_1}$.

Рассмотрим случай $R < d < 2R$ (рис. 3). Число возникающих областей позиционирования равно

$$K = 2N - 1.$$

Области позиционирования равны между собой по ширине, если $d = \frac{4}{3}R$ и обслуживаемая территория является «укороченной» с каждой стороны на одну треть часть диа-

метра зоны действия крайних базовых станций. Обозначая уменьшенную длину трассы L' , имеем

$$L' = d(N-1) + \frac{2R}{3}; \quad d = 2\Delta l; \quad R = \frac{3\Delta l}{2};$$

$$N = \frac{3L' + 2R}{4R}.$$

Сравнивая N и N_m , получим

$$\frac{N_m}{N} = \frac{mL - 2mR_m + 2R_m}{3L' + 2R} \cdot \frac{2R}{R_m}.$$

Учитывая, что $\frac{R}{R_m} = \frac{3}{m}$, имеем

$$\frac{N_m}{N} = \frac{3mL - 2mR + 2R}{3L' + 2R} \cdot \frac{2}{m}$$

Следовательно, при $\frac{R_m}{L} \rightarrow 0$ и $\frac{R}{L} \rightarrow 0$

$$L \rightarrow L', \quad \frac{N_m}{N} \rightarrow 2. \quad (6)$$

Таким образом, размещение достаточно большого числа базовых станций, обладающих равными зонами действия, со смещением вдоль трассы зон действия базовых станций, равным одной трети диаметра зоны действия любой из базовых станций, позволяет при обеспечении требуемой точности позиционирования подвижных объектов вдоль протяженной трассы использовать вдвое меньшее количество базовых станций, чем при других способах размещения. Если базовая станция является центром своей зоны действия, то интервал размещения базовых станций с равными радиусами зон действия, очевидно, составляет две трети диаметра зоны действия каждой базовой станции. При этом диаметр зоны действия каждой базовой станции втрое больше заданной точности позиционирования.

При обслуживании достаточно обширной территории, в пределах которой находятся позиционируемые подвижные объекты, базовые станции целесообразно размещать в центрах условных ячеек, представляющих собой равные правильные шестиугольники, плотно покрывающие обслуживаемую территорию. При этом, как следует из результатов, полученных выше для одномерного размещения базовых станций, обладающих равными радиусами зон действия, интервал между базовыми станциями должен быть равен двум третям радиуса зоны действия каждой базовой станции. При этом наименьшая точность позиционирования, равная одной третьей части диаметра зоны действия каждой базовой станции, обеспечивается при позиционировании подвижных объектов, находящихся на прямых, проходящих через центр данной ячейки и центры соседних. Основываясь на приведенных соотношениях, можно показать, что такие параметры размещения базовых станций дают при заданной точности позиционирования четырехкратную экономию базовых станций, по сравнению с любыми другими. Отметим, что на определенных участках перекрывающиеся зоны действия соседних базовых станций образуют области позиционирования весьма малых размеров, что дополнительно повышает точность определения местоположения подвижных объектов.

Полученные результаты являются следствием сделанного допущения о том, что зоны действия базовых станций являются круговыми, причем их радиусы равны между собой. Однако, как уже указывалось, в урбанизированных условиях эти допущения в общем случае не верны: границы зон действия базовых станций сильно изрезаны и значительно флуктуируют. Тем не менее, приведенные соотношения могут служить основой пространственно-энергетического планирования разрабатываемой малоэнергетической радиотелекоммуникационной инфраструктуры позиционирования, мониторинга и диспетчеризации транспортных средств, а использование развитых методов статистической обработки сигналов открывает дополнительные возможности для повышения точности определения местоположения подвижных объектов.

Литература

1. Теоретические основы радиолокации. Под ред. В.Е. Дулевича. – М.: Советское радио, 1978.
2. Невдяев Л.М. Мобильная связь 3-го поколения. Под ред. Ю.М. Горностаева. – М.: Серия изданий «Связь и бизнес», 2000.

ГОРОДСКАЯ МЕЖВЕДОМСТВЕННАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ ИНФРАСТРУКТУРА НА ОСНОВЕ МАЛОМОЩНЫХ ПРИЕМОПЕРЕДАЮЩИХ СТАНЦИЙ

Я. С. УРЕЦКИЙ, Л. П. БАРЫШНИКОВ, М. А. ВАЛЕЕВ, П. В. КУПЕРШМИДТ

Казанский государственный технический университет им. А.Н. Туполева

Abstract. The municipal radio communication low-powered multizone infrastructure for reception, collection, transmission and processing information about location and exploitation parameters of the vehicle's are considered. The methods for rational disposition of the stations are proposed and discussed.

Современные условия эффективного и бесперебойного совместного функционирования различных городских служб и ведомств диктуют необходимость создания в каждом достаточно крупном населенном пункте единой межведомственной малоэнергетической радиотелекоммуникационной инфраструктуры позиционирования, мониторинга и диспетчеризации транспортных средств, в основе которой лежит размещение на обслуживаемой территории множества базовых станций, регистрирующих сигналы подвижных объектов и передающих соответствующую информацию на один или несколько диспетчерских пунктов для осуществления их мониторинга и диспетчеризации. В связи с этим при разработке подобных систем возникают задачи:

- определения местоположения подвижных объектов;
- передачи информации с базовых станций на диспетчерские пункты;
- мониторинга и диспетчеризации транспортных средств на основе геоинформационных систем.

При этом на характеристики системы накладываются целый ряд ограничений (по энергетическим параметрам – допустимые мощности применяемых радиопередатчиков настолько малы, что зона действия любой из базовых и подвижных станций по размерам значительно меньше обслуживаемой территории; по точности определения местоположения подвижных объектов, быстродействию, помехоустойчивости, надежности и др.), что усложняет совместное решение этих задач. Поэтому на первоначальном этапе их решение целесообразно проводить раздельно.

В настоящем докладе внимание сосредоточено на исследовании возможностей осуществления доставки информации с базовых станций на диспетчерские пункты, как одной из наиболее важных задач.

Решение этой задачи может базироваться на использовании существующих телекоммуникационных систем и технологий и на разработке оригинальной системы передачи информации, учитывающей все возникающую специфику задачи.

В первом случае предпочтение зачастую получают системы сотовой радиосвязи [1], развитая инфраструктура которых позволяет обеспечить двунаправленную радиосвязь между всеми базовыми станциями и диспетчерскими пунктами. Однако большое число базовых станций системы позиционирования и мониторинга, а также необходимость непрерывного транспорта информации по каналам связи приводят к тому, что применение систем сотовой радиосвязи становится нецелесообразным в силу высокой стоимости оборудования и трафика. Отметим, что указанные особенности не позволяют использовать и какие-либо другие, в том числе и проводные, телекоммуникационные системы, основанные на предоставлении каналов связи в соответствии с трафиком.

В связи с этим проанализируем возможности создания телекоммуникационной системы, изначально ориентированной для осуществления непрерывной передачи информации на диспетчерские пункты с многочисленных базовых станций, размещенных на обслуживаемой территории. Наибольший интерес при этом вызывают задачи разработки беспроводной, радиотелекоммуникационной, инфраструктуры, которые включают вопросы территориального частотно-энергетического планирования, маршрутизации, протоколов связи и др.

Ограничения на энергетический потенциал системы определяют значения радиусов зон действия базовых станций, которые, однако, не должны быть меньше интервала размещения базовых станций. Это позволяет осуществлять передачу информации с каждой базовой станции на диспетчерские пункты путем последовательной ретрансляции этой информации другими базовыми станциями.

Один из способов размещения базовых станций с целью обеспечения эстафетной передачи данных состоит в том, что всю обслуживаемую территорию условно разбивают на ячейки, представляющие собой равные правильные шестиугольники, в центрах и в вершинах которых размещают базовые станции (рис. 1), причем значения радиусов этих ячеек равны радиусам зон действия базовых станций и обусловлены требуемой точностью позиционирования подвижных объектов и допустимыми значениями мощности передатчиков базовых и подвижных станций. В связи с этим в непосредственной близости от каждой базовой станции размещены не более шести базовых станций, называемых соседними.

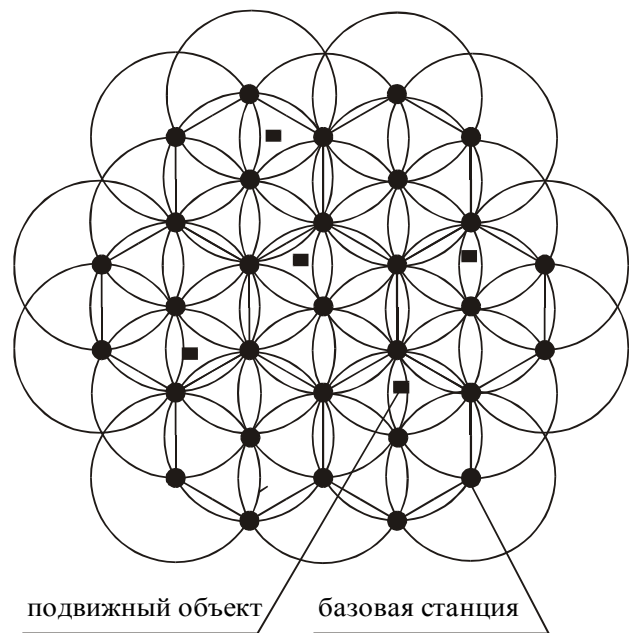


Рис. 1

При ненаправленном излучении сигналов и ненаправленном их приеме в условиях свободного пространства зона действия каждой базовой станции представляет собой круг, охватывающий все соседние базовые станции. Для увеличения скорости передачи информации по сети целесообразно предусмотреть возможности одновременного излучения ретрансляционных сигналов с соседних базовых станций, что требует задания на соседних базовых станциях различных частот передачи. Их количество, в соответствии с известным принципом повторного использования частот, определяют исходя из допустимого уровня

соканальных помех [2], однако, очевидно, при указанных параметрах взаимного расположения базовых станций, число этих частот не может быть меньше семи.

Другой вариант территориального частотно-энергетического планирования заключается в том, что аналогично описанному выше всю обслуживаемую территорию условно разделяют на ячейки той же формы и того же размера, однако размещение базовых станций осуществляют только в вершинах ячеек (рис. 2). При этом каждая базовая станция окружена не более чем тремя соседними базовыми станциями, что тем не менее позволяет обеспечить передачу информации с любой из базовых станций на диспетчерский пункт путем ретрансляции и дает возможность сократить количество базовых станций и соответственно уменьшить число рабочих частот до четырех. Отметим, что изменение параметров взаимного расположения базовых станций влияет на точность позиционирования подвижных объектов, однако обсуждение этого вопроса выходит за рамки данного доклада.

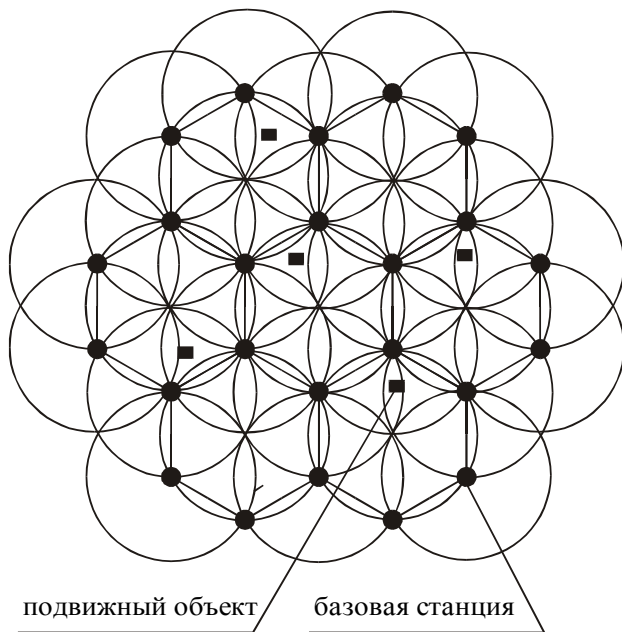


Рис.2

Рассмотренные варианты являются примерами идеализированных пространственных частотно-энергетических моделей системы, которые не учитывают сложного характера распространения радиоволн, свойственного городской местности. В реальных условиях зоны действия базовых станций существенно отличаются от круговых, причем их размеры в зависимости от длины волны подвержены значительным изменениям вследствие перемещения в них достаточно крупных объектов. В связи с этим для обеспечения бесперебойной передачи информации размеры зоны действия каждой базовой станций необходимо стабилизировать путем регулировки мощности излучения этой базовой станции по результатам измерения мощности ее сигналов на соседних базовых станциях. При этом регулировку мощности излучения можно осуществлять, например, в соответствии с

минимальным значением мощности $P_{\text{изл. пр. мин}}$ сигнала этой базовой станции из соответствующих измеренных значений мощности на соседних базовых станциях:

$$P'_{\text{изл}} = P_{\text{изл}} \frac{P_{\text{пр. мин}}}{P_{\text{изл. пр. мин}}} \quad (1)$$

где $P_{\text{пр. мин}}$ – чувствительность приемников базовых станций; $P_{\text{изл}}$ – номинальное значение мощности излучаемых радиосигналов; $P'_{\text{изл}}$ – значение мощности излучаемых радиосигналов, которое устанавливают на базовой станции в процессе регулировки.

Обсуждая вопросы транспорта информации по системе, отметим, что пространственная двухмерность системы с учетом третьей координаты – времени – порождает большое разнообразие способов организации передачи данных на диспетчерские пункты, в связи с чем проведем их классификацию по соответствующим признакам.

По временным характеристикам. Система может являться:

- синхронной – все информационные процессы синхронизированы сигналами внешней системы единого времени;

- и асинхронной – такая синхронизация отсутствует, и передача информации со станции на станции инициируется в произвольные моменты времени, например, при появлении в зоне действия соответствующей базовой станции очередного подвижного объекта.

Очевидно, системы первого типа более просты в технической реализации, однако не позволяют рационально перераспределять ресурсы системы с учетом динамики информационной загрузки.

По пространственным характеристикам. Структура системы передачи информации на диспетчерские пункты может быть:

- радиальной – передачу информации осуществляют по наикратчайшим маршрутам по всем направлениям от периферии к диспетчерскому пункту;

- винтовой – маршрут передачи информации представляет собой винтовую линию, проходящую через все базовые станции и скручивающуюся к диспетчерскому пункту;

- доменной – вся обслуживаемая территория разделена на множество участков (доменов), каждый из которых охватывает несколько близлежащих базовых станций; информация в доменах концентрируется первоначально в одной из базовых станций, а затем передается в соседние домены и так далее по радиальной или винтовой траектории.

В первом случае достигается минимальное время опроса базовых станций, однако практически в каждой их них необходимо использовать многоканальные приемники. Во втором случае время опроса максимально, однако приемники базовых станций принципиально могут быть одноканальными. Доменная структура, в отличие от двух предыдущих, является иерархической и позволяет оптимизировать информационную нагрузку всех базовых станций, однако требует более сложной организации системы.

По пространственно-временным характеристикам. Способ передачи информации с базовых станций может быть:

- последовательным – сначала информация, проходя по соответствующему маршруту, поступает с удаленных базовых станций, затем – с более близких по отношению к диспетчерскому пункту и т.д.; последовательная передача информации завершается передачей на диспетчерский пункт информации с базовых станций, являющихся соседними по отношению к нему (очередность может быть и обратной: вначале передают информацию с ближайших по отношению к диспетчерскому пункту базовых станций, затем – с удаленных);

- параллельным – информация с каждой базовой станции поступает на соседнюю базовую станцию, лежащую на заданном направлении, которая, в свою очередь, дополняет ее своей информацией и передает результирующие данные на следующую базовую станцию и т.д.;

- параллельно-последовательным – на различных участках сети одновременно используются и последовательный, и параллельный способы передачи информации.

Отметим, что для обеспечения надежности работы системы передачу информации на диспетчерский пункт с каждой базовой станции целесообразно осуществлять по нескольким маршрутам, т.е. с резервированием. Кроме того, как уже указывалось, адаптивная подстройка радиусов зон действия базовых станций при изменении условий распространения радиоволн способствует повышению вероятности безошибочной передачи информации на диспетчерские пункты.

В настоящем докладе основное внимание уделено вопросам передачи информации с базовых станций на диспетчерские пункты. При этом возможна также передача информации и в противоположном направлении – от диспетчерского пункта на базовые станции и на подвижные объекты. В этом случае с целью обеспечения качественного приема информации на подвижных объектах, находящихся в пределах всей обслуживаемой территории, необходимо избегать перекрытия зон действия базовых станций с одинаковыми

частотами передачи. В связи с этим при размещении базовых станций только в вершинах ячеек (фиг. 2) число применяемых в системе рабочих частот не должно быть менее шести.

Таким образом, исследованы различные аспекты создания малоэнергетической радиотелекоммуникационной инфраструктуры позиционирования, мониторинга и диспетчеризации транспортных средств и, в частности, рассмотрены вопросы, связанные с передачей информации с базовых станций на диспетчерские пункты. Проведенный анализ позволяет наметить пути построения подобных систем с целью повышения эффективности функционирования различных городских служб и ведомств.

Литература

1. Громаков Ю.А. Стандарты и системы подвижной радиосвязи. – М.: Эко-Трендз, 2000.
2. Ратынский М.В. Основы сотовой связи. Под ред. Д.Б. Зимины. – М.: Радио и связь, 2000.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВУХДИАПАЗОННЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА GSM

В. Ю. БАБКОВ, А. В. РУФОВА

*Санкт-Петербургский Университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

Abstract. The problem of the estimation the efficiency hierarchical mobile cellular network is investigated.

На данном этапе развития сетей сотовой связи стандарта GSM актуальным является объединение сотовых сетей стандартов GSM-900 и GSM-1800 и создание двухдиапазонных сетей GSM-900/1800. Из опыта технической эксплуатации действующих сетей, видно, что диапазон 1800 МГц целесообразно использовать преимущественно в зонах высокой плотности абонентской нагрузки, а как самостоятельный стандарт GSM-1800 в российских условиях неэффективен.

При создании двухдиапазонных сетей существует два основных подхода. Первый – это создание двухдиапазонной сети путем объединения автономных сетей стандартов GSM-900 и GSM-1800 (рис. 1).

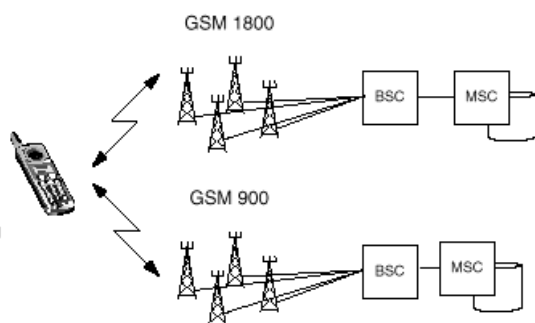


Рис. 1

В подобной сети с точки зрения иерархии никакой диапазон не имеет предпочтения. Этот вариант более предпочтителен с точки зрения экономической эффективности при наличии у оператора действующей сети одного из данных стандартов. Добавление второго уровня улучшает емкость и зону покрытия сети. Основными проблемами при создании таких сетей является необходимость совмещения различных версий программного обеспечения, используемого на

сетях, отличающийся состав предоставляемых услуг связи, а также различные системы биллинга.

Другой подход – создание двухдиапазонной сети на основе объединения оборудования разных диапазонов общей подсистемой коммутации и подсистемой базовых станций (рис. 2).

Подсистема коммутации (SSS) включает в себя центр коммутации (MSC), соединенный с сетью общего пользования (PSTN), регистр положения (HLR), регистр перемещения (VLR), центр аутентификации (AUC) и центр эксплуатации и обслуживания (OMC). Под-

система базовых станций (BSS) включает в себя базовые станции (BTS), контроллеры базовых станций (BSC), транскодеры (TRCU) и центр управления и обслуживания (OMC-R).

Преимуществом этой схемы является возможность создания совмещенной сети с включением базовых станций GSM-900 и GSM-1800 в общий контроллер базовых станций (BSC), использовании общих сетевых интерфейсов (A-bis и A), единой базы об абонентах, общего центра управления и обслуживания (OMC-R) и единого "биллинга". Такой подход позволяет применять базовые станции, в состав которых входят радиочастотные блоки диапазонов 900 и 1800 МГц. Эта схема построения совмещенной сети реализована в настоящее время в Москве [2].

В данном случае происходит включение частот диапазона 1800 МГц в иерархическую структуру сот (создание уровня микросот) и максимальное их использование для обслуживания трафика. В такой сети частоты диапазона 1800 МГц используются для обслуживания абонентов с низкой степенью подвижности на уровне микросот, а абоненты с высокой подвижностью обслуживаются макросотами GSM-900, что повышает эффективность использования частотного ресурса обоих диапазонов.

В двухдиапазонной иерархической сети уровень, использующий большие ячейки (макросоты) определяется как "верхний уровень", другой уровень, который имеет самые маленькие ячейки (микросоты) называется "нижним уровнем".

В иерархической сети основная задача заключается в использовании процедуры управления радиointерфейса таким образом, чтобы большая часть трафика обрабатывалась на нижнем уровне, то есть в самых маленьких ячейках, так как, это ограничивает интерференцию и поэтому позволяет улучшить повторное использование частот (уменьшить размерность кластера).

Количество случаев передачи управления между сотами снижается за счет введения параметра скорости движения абонентов. В зависимости от скорости передвижения производится распределение абонентов, по соответствующим уровням сети. Подвижная станция рассматривается как быстрая, если ее время пребывания в ячейке сравнимо со средним временем удержания соединения. Быстрые подвижные станции относят к структуре верхнего уровня (макросоты). Медленно передвигающиеся подвижные станции, обслуживаются структурой нижнего уровня (микросотами). В случае отсутствия свободного канала на том или ином уровне иерархической сети абонент обслуживается другим уровнем независимо от скорости движения.

Для оценки эффективности двухдиапазонных сетей GSM 900/1800 предлагается использовать следующие критерии:

1. Общая стоимость построения совмещенной сети.
2. Эффективность использования частотного ресурса
3. Простота реализации межуровневого хэндовера.
4. Возможность дальнейшего развития сети

Данные характеристики закладываются на этапе планирования совмещенных сетей GSM-900/1800. Принятие решения об использовании того или иного варианта частотно-территориального плана сети должно производиться по результатам анализа этих показателей качества сети.

Предлагается следующая последовательность действий при планировании совмещенных двухдиапазонных сетей.

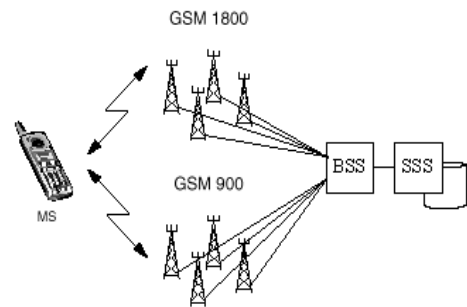


Рис. 2

На первом этапе планирования, исходя из предполагаемой нагрузки и зоны действия сети, необходимо определить области совместного использования двух сегментов сети и области, в пределах которых будут организованы только соты макроуровня (дороги, окраинные и удаленные населенные пункты с небольшим числом абонентов).

При синтезе совмещенной сети первоначально определяется архитектура и параметры макросотового уровня сети, а потом производится организация микроуровня.

Поскольку в сети абонентская нагрузка распределена неравномерно, то по мере приближения к центрам деловой активности площадь сот пропорционально сокращается и (или) увеличивается число частотных каналов в секторе базовой станции.

Предлагаемый подход предусматривает разделение зоны обслуживания сети на фрагменты, в пределах которых можно задаться распределением абонентской плотности. В [3] рассмотрен частный случай, при котором имеет место спад поверхностной плотности абонентской нагрузки от центра города к периферии по экспоненциальному закону.

При этом зона действия сети разбивается на области с различной абонентской плотностью, которым соответствуют три уровня (см. рис. 3)

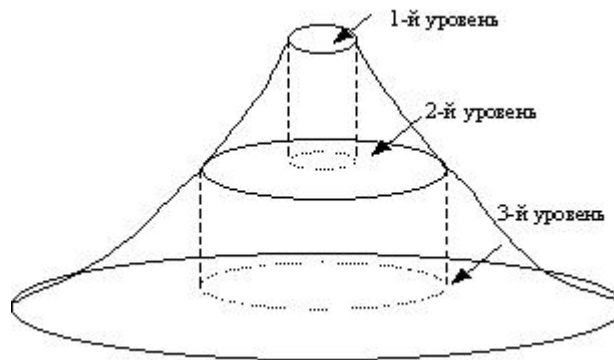


Рис. 3 Топологическая модель абонентской нагрузки сотовой сети

В пределах 1-го уровня абонентская плотность принимается максимальной и постоянной. Второй уровень совместно с первым обслуживает 75 % общей абонентской нагрузки сети. Третий уровень сети – это области, в которых абонентская нагрузка невелика и нет необходимости в использовании микросот GSM-1800.

При данной архитектуре сети макросоты 1-го уровня максимально используют выделенный частотный ресурс, обладают минимально-возможными размерами, но не имеют возможности обслужить всю абонентскую нагрузку, приходящуюся на данный сегмент. Поэтому применение микросот на этом уровне должно обеспечить требуемую пропускную способность сети. Стоимость данного фрагмента сети снизить невозможно, поэтому необходимо оптимизировать параметры 2-го и 3-го уровней по критерию общей стоимости сети.

Следует отметить, что размерность кластера может изменяться в пределах сети, в соответствии с параметрами ЭМС. Итак, в процессе построения сети, следует продвигаться к периферии увеличивая размер сот и тем самым, оптимизируя решение по стоимости. На данном этапе возникает проблема стыковки кластеров одинаковой размерности, имеющих разные геометрические размеры (см. рис. 4). Изменение размеров сот в пределах одной сети называют расщеплением сот (*cell splitting*).

Наиболее ярко эти явления проявляются при построении сети второго макроуровня, так как в ней абонентская плотность меняется довольно резко. В итоге находим сеть с максимально-возможной пропускной способностью, так как при приближении к центру решение стремится к предельному. Во 2-ом макроуровне сети мы имеем некий переходной вариант от 3-го макроуровня сети к уровню максимальных возможностей (т.е. перво-

му макроуровню сети), где надо справиться с абонентской нагрузкой ценой любых ресурсов. Здесь вследствие резкого падения абонентской нагрузки к периферии наблюдается резкое увеличение размера сот к границам 2-го макроуровня сети. Для сети 3-го макроуровня радиус соты будет максимально-возможным на границе зоны обслуживания сети.

Минимизировать общую стоимость сети можно в процессе организации 3-го макроуровня сети решением задачи оптимизации по числу базовых станций.

Очевидно, для стыковки сот при разных типах кластеров надо стремиться к сети зонтичной структуры. При этом требуется проверка найденного решения по ЭМС и перераспределение частот в сети.

Данная концепция, как показывают исследования, обеспечивает построение двухдиапазонной сети GSM-900/1800 с минимальной стоимостью базового оборудования. При этом требуется определенный частотный резерв для решения вопросов частотного назначения в переходных сотах.

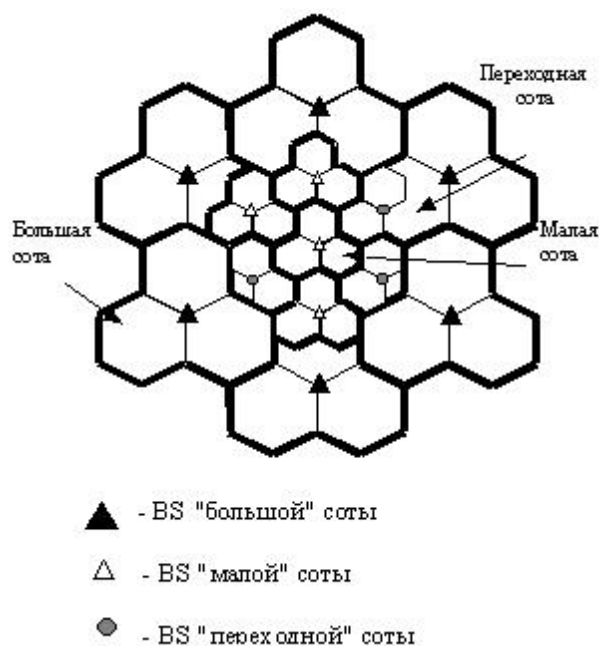


Рис. 4 Расщепление сотовой структуры

Литература

1. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / СПбГУТ. СПб., 2000. 196 с.
2. Громаков Ю.А. Создание и развитие сетей сотовой связи GSM-900 и GSM-1800 // Мобильные системы. – 1999. – № 3
3. Коновалов А.Х., Рубин Г.З. Оптимизация топологии радиоподсистем сетей сотовой связи // Мобильные системы. – 2000. – № 5

"ЧЕЛОВЕК С ТРУБКЕЙ" В ВЕРТИКАЛИ ИНФОРМАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Ю. Л. ХОХЛЕНКО, В. Д. ЧЕЛЫШЕВ, В. В. ЯКИМОВЕЦ

Военный университет связи

Abstract. New transformation force of information interaction vertical "manager – active group" lower level is the appearance of "men with handheld telephone". Information interaction in this level is oriented to action collective selection procedure, which is realized according to the successive dichotomy procedure. During the choice act the subject (executor) logical measure surpasses the statistical one. The "men with handheld telephone" origin in information interaction vertical changes essentially the all officials chain behavior character, cleans it from indefiniteness, bureaucratic messages and lie.

Первые последствия глобализации, персонализации и конвергенции в продвижении капиталов, товаров и услуг, включая информацию, дают неожиданные результаты. Установившиеся стереотипы и культ информационных ограничений рушатся в самых разных местах. Одной из преобразующих сил в вертикали информационного взаимодействия следует считать появление "человека с трубкой".

Внезапно возникающие проблемы и трудности при выполнении тщательно спланированных работ обычно начинаются снизу, в звене прямой руководитель – деятельностная

группа. Деятельностная группа – специально организованная группа людей, выполняющая практические действия по достижению цели, поставленной руководством данной группы, в том числе выполняющая действия по продвижению капиталов, товаров и услуг в сферу производства и потребления. Информационное взаимодействие равноподчиненных или независимых участников (горизонталь информационного взаимодействия) ниже не рассматривается. Основное внимание уделено вертикали информационного взаимодействия, где соседствуют подчиненность и иерархия взаимодействия снизу вверх, а приоритеты распределяются по важности, значимости выполняемых действий и во времени (в том числе и по шкале интенсивности).

Информационное взаимодействие при принятии решений в рассматриваемом звене более ориентировано на процедуру группового выбора действий в противовес традиционной процедуре выбора сообщений при порождении и/или потреблении информации. В свою очередь, это относится к выбору базовых действий, т.е. действий существенно влияющих на исход запланированных работ и достижение цели. Базовые действия предварительно согласуются при планировании работ как по возможному арсеналу, так и порядку их выполнения. Временная метрика в информационном и деятельностном пространствах примерно адекватна и всегда дефицитна. Реальность времени определяется скажностью событий, существенно влияющих на реализацию принятых решений или своевременностью реакции управленческих процедур. Выбор и принятие решения на исполнение действий осуществляется по правилу максимума прироста информации за минимальное время, т.е. по принципу максимальной скорости приобретения информации.

Иными словами именно в звене прямой руководитель – деятельностная группа находится основа деятельностного процесса как совокупности процессов выбора действий. Теоретически наибольшей результативностью выбора обладает обоснованный К. Шенноном метод последовательных дихотомий. Это последовательный выбор между группами действий в порядке снижения динамической информативности. Под последней понимается скорость приобретения информации от разных носителей, признаков объекта, знаковых сообщений, получаемых по вертикали информационного взаимодействия [1]. Вероятностный облик уравнений выбора (дихотомий) интерпретируется в аксиоматической, логической метрике выбора. Логическая точностная метрика суждений субъекта (исполнителя) в выборе действий превалирует над статистической мерой возможного как объективного фактора (вне субъекта) выбора действий.

Предельно формализованным правилам принятия решений по статистическим моделям, в действительности не адекватным многообразию реальностей, противопоставляются мышление, восприятие, умственные автоматические инстинкты жизненного опыта. Достаточно точное предсказание результатов, не очевидных статистически, является наиболее сильным результатом аксиоматики. В ее арсеналах быстрое "переваривание" огромных объемов неформализованной информации, непосильной статистике на рассматриваемом нижнем уровне информационного взаимодействия.

Не охватываемое статистикой поле выбора осложняется еще и неопределенностью среды. Противодействие среды (взаимодействующих систем) может носить антагонистический характер, быть индифферентным или содержать способствующие факторы. Выявление истинности среды на месте позволяет по вертикали информационного взаимодействия уточнять временные рамки, объем и порядок выбираемых действий как запланированных заранее и обеспеченных экипировкой группы, так и непланировавшихся.

Подобный вид деятельностного информационного общения на каналах связи достаточно эффективно реализуется в виде коротких сообщений с радиотехническим сопровождением (опознавание, пространственное целеуказание, топопривязка, радиокомандное управление ...). Именно такие системы, названные многофункциональными, длительное

время практически используются (JTIDS, PLRS) в ряде служб с выраженной вертикалью подчиненности наряду с системами общего пользования и командного управления [2...5].

Современные технологии благодаря "человеку с трубкой" позволяют значительно расширить возможности и нижний уровень проникновения многофункционального взаимодействия в системах мобильного радиосервиса. К ним в первую очередь относятся службы коротких сообщений (SMS – Short Message Service), технологии пакетной передачи информации, определения местоположения (GPS/ГЛОНАСС) и другие. Традиционная информационная метрика (скорость и объемы передачи информации) в многофункциональных режимах, ориентированных на выбор действий, замещается частотой прохождения специальных сообщений (как правило, коротких, с другой метрикой значности и функционально разных). Эти частоты могут не регламентироваться, динамически перераспределяться или фиксироваться на интервале деятельности задач [4, 5].

В практической деятельности решение внезапно возникающих проблем выполнения запланированных работ в звене прямой руководитель – деятельностьная группа затруднено именно ограниченностью традиционного информационного взаимодействия. Регламентированный сеансовый характер связи или даже отсутствие таковой на интервалах времени, существенно влияющих на исход выполняемых работ, усугубляют трудности. Чего здесь только не придумано. Математически все усилия сосредоточены на решении самых разных задач статистического упорядочения, организации производства и оперативного управления при календарном, дискретном по времени, характере взаимодействия.

Достижение целей упорядочения, повышение эффективности информационного взаимодействия в этих случаях достигается путем введения различного рода нормативов. Ясно, что никакие нормативы не могут учесть весь спектр реальных неопределенностей, а срыв календарных расписаний объясняется случаями, отнесенными к категории катастроф. Календарное взаимодействие более подходит для случаев стационарных информационных процессов с устойчивыми и полностью определенными параметрами. Выход из стационарности действительно является катастрофой.

Межсеансовая априорная неопределенность на нижних уровнях прямой руководитель – деятельностьная группа в существующих системах особенно в форсмажорных обстоятельствах заполняется информационным шумом на верхних уровнях информационного взаимодействия. Шум представляет собой ретроинформацию, формально-бюрократические и статусные сообщения, замаскированную или прямую ложь. Непосредственного отношения к интеллектуальному процессу информационного взаимодействия на нижних уровнях эти явления не имеют.

Появление "человека с трубкой" даже в традиционном процессе информационного взаимодействия в корне меняет дело. Создается виртуальный эффект непосредственного присутствия, ответственного участия и прямого управления работами со стороны руководителя на всех этапах достижения поставленной цели, осуществления контроля за действиями, осуществляемыми деятельностью группой в целом и ее членами в частности.

С другой стороны, полная и объективная информированность о текущей деятельности исполнителей на нижних уровнях взаимодействия и всей вертикали снизу вверх обязывает непосредственных и промежуточных управленцев своевременно, объективно и ответственно реагировать на текущие (особенно нештатные) ситуации, не ссылаясь на инструкции сеансового взаимодействия. При этом не требуется изменения инфраструктуры сложившихся систем связи более высокого уровня. Однако метрика и результаты оценки деятельностью группы будут иными. Названные обстоятельства мгновенного установления информационного деятельностного взаимодействия нижнего уровня существенно изменяют характер поведения всей вертикали должностных лиц, очищая ее от неопределенности, бюрократических отписок и лжи. Существенно преобразуется характер, содержа-

ние и интенсивность информационного обмена, очищенного от псевдоинформационного шума.

Таким образом, появление "человека с трубкой" в вертикали информационного взаимодействия в решении деятельностных задач на исполнительном уровне влияет на сам характер выбора действий. А именно: выравнивает ответственность по линии умозаключений, повышает эффективность (информативность) по линии восприятий, ускоряет переход от группового выбора на последовательный выбор прямых действий при достижении цели. Требуется учесть возможные нежелательные последствия появления человека с телефонной трубкой в деятельностной группе: снижение самостоятельности в выборе действий, снижение риска из-за боязни неправильного выбора действий. Необходимо также оценить возможные контрдействия и деструктивных действий при нахождении деятельностной группы в антагонистической среде.

Литература

1. Кожарский Л.А. Экспертные системы – интеллектуальное ядро ЭВМ пятого поколения. – М.: Знание, 1984. – 64 с.
2. Davis B.W., Gracham C., Stamm D., Parker C. Tactical digital information link (TADIL) J range extension (JRE). // Milcom'97. – IEEE, 1997. P. 408–412.
3. Enhanced position location reporting system. – Hughes aircraft company, 1989. – 120 p.
4. Чельшев В.Д. Выбор параметров сигналов многофункциональных систем пакетной радиосвязи с множественным доступом. / Вопросы расчета и проектирования антенн и радиолиний. – Л.: ВАС, 1990. С. 135–145.
5. Чельшев В.Д. Помехозащищенность многофункциональных систем при коллективном использовании частотно-временного ресурса. / Вопросы ЭМС и расчета антенн и радиолиний. – СПб.: ВАС, 1991. С. 15–19.

СЕТИ СВЯЗИ С ПОЛНЫМ НАБОРОМ УСЛУГ НА ОСНОВЕ ПОЛИКОНЦЕПТУАЛЬНОЙ СИСТЕМНОЙ МОДЕЛИ ПРОБЛЕМЫ ЕЕ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Я. С. УРЕЦКИЙ, А. К. ВАЛЕЕВ, Л. С. ЦАРЕВ

Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева

Abstract. The questions of construction of effective networks of communication with a complete set of services are considered. The models of networks are offered and modelling a problem of their creation and uses is carried out (spent). The principles of construction of the concept of a network of communication with a complete set of services are considered.

В настоящее время наблюдается тенденция, когда все существующее многообразие сетей и способов связи предполагается заменить одной сетью с едиными принципами обмена информации в различных средах. Такие сети получили название «Сети с полным набором услуг» — FULL SERVICE NETWORKS (FSN).

Таким образом, актуальна задача разработки эффективных сетей связи с полным набором услуг. Особенность FSN состоит в том, что на всех этапах ее жизненного цикла требования к ней формируют несколько участников: потребитель информации, оператор связи, информационный ресурс и администрация связи. Указанные требования участников являются противоречивыми. Поэтому создание и использование сети связи с полным набором услуг можно рассматривать как проблему [1,2]. Для решения проблемы необходимо провести ее описание и построить модель, на основании которой разработать концепцию сети. Полученная концепция должна определять правила взаимодействия между участниками, устанавливать основные технологические и организационные характеристики сети, т.е. регламентировать все этапы ее жизненного цикла.

Проведено построение поликонцептуальной системной модели проблемы.

Для получения указанной модели получена модель самой FSN, на основе ее морфологического функционально–праксеологического (МФП) описания [2]. Морфологическое описание включает в себя описание элементов системы, связей между ними и является декомпозицией системы в пространстве, с образованием морфологических иерархий элементов. Все морфологические элементы FSN разделены на две группы: элементы сосредоточенные в пространстве и элементы распределенные в пространстве.

На первом уровне выделено три элемента (подсистем): абонентская сеть, групповой канал (транзитная сеть или транспортная магистраль) и управитель. Первые два элемента относятся к группе элементов сосредоточенных в пространстве, а третий – к группе элементов распределенных в пространстве. На нижних уровнях иерархии деление элементов по критерию сосредоточенности в пространстве производить не будем. Далее произведена декомпозиция абонентской сети, группового канала и управителя и на каждом уровне получены морфологические связи между элементами.

Функциональное описание определяет параметры и функции системы, а также ее входы и выходы (интерфейсы входа/выхода). Под функцией предлагается понимать действие, производимое объектом для преобразование некоторого исходного или начального состояния (ситуации) в некоторый желательный конечный результат. Таким образом, описание функций как «действий» объектов зависит от морфологического описания FSN, то есть определяемые функции системы связаны с ее морфологическими элементами. Очевидно, что в этом случае необходимо производить иерархическую декомпозицию функций исследуемой системы, причем уровни иерархии функций должны соответствовать уровням морфологической декомпозиции.

Определена функция сети нулевого уровня FSN как «осуществление обмена информацией независимо от ее вида». Аналогично получены функции для последующих иерархических уровней. Каждая функция характеризуется некоторыми параметрами. Для функций первого уровня параметры представлены в виде множества $\{^1/P_i\}$, где i – порядковый номер параметра, j – номер функции первого уровня. Получены соотношения, связывающие числовые параметры между собой и приведены характеристики нечисловых параметров. Произведена декомпозиция интерфейсов ввода/вывода сети.

Праксеологическое описание сети определяет показатели качества системы и ее услуги. Показатели качества характеризуют свойства системы применительно к ее назначению. Различают функциональные и экономические показатели. Функциональные показатели характеризуют свойства, полезные в смысле прямого назначения системы, его функций, а экономические – это финансовые затраты, предназначенные для придания системе необходимых ей качеств.

При праксеологическом описании FSN выделены показатели, характеризующие качество доставки информации от источника до адресата (показатели семантической прозрачности) и показатели, характеризующие задержку при обслуживании абонента с требуемым качеством (показатели временной прозрачности).

Множество показателей качества представим в виде совокупности элементов $Q_i \in Q_{FSN}$, где Q_{FSN} – множество показателей качества сети связи с полным набором услуг. Для указанных показателей качества получены выражения, связывающие их с параметрами и морфологическими свойствами сети.

На основе морфологического описания построена структурная модель первого уровня сети в виде топологического планарного графа, формализующего связи между элементами. Также получена функциональная модель сети в виде SADT диаграммы [1], устанавливающей соответствие функций сети с ее морфологическим описанием и интерфейсами ввода/вывода.

На основе праксеологического описания получена математическая модель сети связи с полным набором услуг, в виде следующих соотношений, связывающих показатели качества с параметрами и морфологическими свойствами.

$$\begin{aligned}
 Q_3 &\approx \exp \left[\frac{-2({}^{13}\Pi_2)^2}{N^* - 2({}^{13}\Pi_2)(1 - N^*{}^{11}\Pi_6/{}^{12}\Pi_1)} \right], \\
 Q_4 &= {}^{11}\Pi_{15} + {}^{12}\Pi_7 + {}^{13}\Pi_{10} + {}^{13}\Pi_{11} + {}^{13}\Pi_{12} + {}^{13}\Pi_3, \\
 Q_5 &= \frac{h^{213}\Pi_{12}(1-\rho)[2h-{}^{13}\Pi_{12}(1-\rho)]}{3[h-{}^{13}\Pi_{12}2(1-\rho)]}, \\
 Q_6 &= \Phi \left[-\frac{{}^{11}\Pi_9 - \mathbf{B}_a^*}{2\sigma[B_a]} \right], \quad Q_7 = \Phi \left[-\frac{{}^{12}\Pi_1 - \mathbf{B}_T^*}{2\sigma[B_T]} \right], \\
 Q_9 &= \frac{{}^{13}\Pi_{12}2(1-\rho)}{h}, \\
 Q_{11} &= \sum_{i=1}^{N_1^{(1)}} {}_9z_{ac}^{(i)} ({}^{11}\Pi_{11}, {}^{11}\Pi_{13}, {}^{11}\Pi_{16}, {}^{11}\Pi_{17}) + \sum_{i=1}^{N_3^{(1)}} {}_9z_y^{(i)} ({}^{13}\Pi_{13}, {}^{13}\Pi_{14}, {}^{13}\Pi_{16}) + \\
 &+ \sum_{i=1}^{N_2^{(1)}} {}_9z_{rc}^{(i)} ({}^{12}\Pi_8, {}^{12}\Pi_9, {}^{12}\Pi_{10}, {}^{12}\Pi_5, {}^{12}\Pi_6, {}^{12}\Pi_3) \\
 Q_{12} &= z_{ac}^{\Pi} ({}^{11}\Pi_{17}), {}^{11}\Pi_{13} + z_{терм}^{\Pi} ({}^{11}\Pi_{18}) \\
 Q_{10} &= \sum_{i=1}^{N_1^{(2)}} c z_{терм}^{(i)} ({}^{11}\Pi_{18}) + c z_{АЛ} ({}^{11}\Pi_{17}) {}^{11}\Pi_{13} + \\
 &+ \sum_{i=1}^{N_2^{(2)}} c z_{сд}^{(i)} ({}^{11}\Pi_9, {}^{11}\Pi_{10}, {}^{11}\Pi_{11}, {}^{11}\Pi_{12}) + \\
 &+ \sum_{i=1}^{N_3^{(2)}} c z_{пгк}^{(i)} ({}^{12}\Pi_2, {}^{12}\Pi_8, {}^{12}\Pi_{10}) + \\
 &+ \sum_{j=1}^{N_4} \sum_{i=1}^{N_3^{(2)}} c z_{гп}^{(ji)} ({}^{12}\Pi_9) {}_{ji}^{12}\Pi_5 + \\
 &+ \sum_{i=1}^{N_5^{(2)}} c z_{м}^{(i)} ({}^{13}\Pi_{14}, {}^{13}\Pi_8, {}^{13}\Pi_9, {}^{13}\Pi_4) + \\
 &+ \sum_{i=1}^{N_6^{(2)}} c z_{к}^{(i)} ({}^{13}\Pi_{13}, {}^{12}\Pi_3, {}^{12}\Pi_2)
 \end{aligned}$$

где Q_i – соответствующие показатели качества, ${}^l\Pi_i$ – параметры, N^* – среднее значение числа заявок на обслуживание, где $h = ({}^{13}\Pi_4 + L) / {}^{13}\Pi_5$, H – длина заголовка пакета (фрейма), $\rho = N^* \frac{{}^{11}\Pi_6}{{}^{12}\Pi_1}$, \mathbf{B}_a^* – математическое ожидание требуемой скорости передачи аб-

нентской сети, $\sigma [B_a]^2$ – среднее квадратическое отклонение требуемой скорости передачи абонентской сети, B_T^* – математическое ожидание требуемой скорости передачи транзитной сети, $\sigma [B_T]$ – среднее квадратическое отклонение требуемой скорости передачи транзитной сети, $c z_{\text{терм}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -го терминала пользователя, $c z_{\text{АЛ}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -й абонентской линии, $c z_{\text{СД}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -й сети доступа, $c z_{\text{ПГК}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -го преобразователя группового канала, $c z_{\text{ГЛ}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -й групповой линии, $c z_{\text{М}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -го мультиплексора, $c z_{\text{К/М}}^{(i)}$ – стоимость приобретения и монтажа i -го коммутатора / маршрутизатора.

С учетом полученного обобщенного описания FSN проведено системное описание проблемы создания и использования сети связи с полным набором услуг. Рассмотрено морфологическое описание проблемы. В качестве морфологических элементов описаны праксеологические показатели FSN, в виде множества показателей качества и услуг сети и показатели качества четырех участников. На основании указанных множеств и множества отношений между ними построена морфологическая модель проблемы в виде планарного размеченного графа, формализующего отношения показателей качества участников между собой и с праксеологическими показателями сети связи с полным набором услуг.

Произведено функциональное описание проблемы. Сформулирована цель создаваемой системы в виде достижения экстремальных значений показателей качества всех участников посредством выбора соответствующих праксеологических показателей сети. Получены операторы проблемы в виде зависимостей показателей качества участников от праксеологических показателей сети связи с полным набором услуг, а также зависимости показателей качества участников друг от друга.

Проведено праксеологическое описание проблемы. Сформулированы критерии эффективности в виде численной оценки достижения цели. Предложено под частными эффективностями понимать условную вероятность событий о том, что показатели качества соответствующего участника равны его экстремальным значениям, полученным в результате оптимального выбора значений праксеологических показателей сети связи с полным набором услуг. Обобщенная эффективность получается как вероятность произведения указанных событий, что в соответствии с теоремой умножения вероятностей представляется в виде произведения вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляется при условии, что все предыдущие имели место.

Построена поликонцептуальная системная модель проблемы создания и использования сети связи с полным набором услуг (ПСМП). Показано, что указанная модель обобщает МФП описание проблемы и представляет собой размеченный оргграф, в качестве вершин которого выступают морфологические, функциональные и праксеологические элементы проблемы, а в качестве дуг – множество связей и операторов.

Сформулированы требования к подобной концепции. Показано, что она должна включать в себя следующие факторы: нормативно-правовой, организационно-экономический и технический. В общем случае концепция представляется в виде системы взглядов или системы знаний о некоторой предметной области. Поэтому к ней также применим МФП подход. Произведем обобщенную МФП декомпозицию концепции.

Морфологическая декомпозиция дифференцирует систему в пространстве. Таким образом, морфологическая иерархия концепции отражает ее поликонцептуальную сущность и определяется свойствами каждого отдельного участника. С этой точки зрения

морфологическими подсистемами концепции являются частные подконцепции для каждого участника.

Функциональная декомпозиция концепции дифференцирует ее на следующие функциональные аспекты: нормативно–экономический, системотехнический и технологический.

Нормативно–экономический аспект концепции, показывает, что она должна определять принципы экономических взаимодействий между участниками в рамках некоторого нормативно–правового поля. Указанные принципы и нормативы определяются техническими особенностями FSN, в частности ее способностью предоставлять различные телекоммуникационные услуги вне зависимости от типа передаваемой информации.

Системотехнический аспект устанавливает основные методы проектирования сети FSN и определяется морфологическим и функциональным описанием проблемы. Технологический аспект проблемы формулирует основные технические принципы построения FSN, определяет технологическую политику. Он служит основой для разработки телекоммуникационных стандартов, обоснования выбора того или иного типа оборудования и определяет обобщенную архитектуру сети.

Праксеологическая декомпозиция основана на понятии жизненного цикла FSN (ЖЦ FSN). Предложена модель жизненного цикла FSN. Показано, что жизненный цикл состоит из следующих этапов: проектирование, производство, выбор технической реализации, закупка, внедрение, эксплуатация и модернизация.

Предложены принципы построения концепции сети связи с полным набором услуг. Первый принцип состоит в том, что концепция основана на поликонцептуальной системной модели проблемы создания FSN. Второй принцип заключается в необходимости ее дифференциации на частные концепции каждого участника. Третий обусловлен функциональной декомпозицией концепции. Четвертый – принцип праксеологической дифференциации концепции по стадиям жизненного цикла. Пятый – принцип содействия, основанный на необходимости удерживания конфликта между социально–экономическим аспектом концепции и ее техническим аспектом в зоне содействия.

Литература

1. Волкова В.Н., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. – СПб.:СПбГТУ, 2000.
2. Урецкий Я.С., Царев Л.С. Телекоммуникационные системы: Учебное пособие. – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 1999.

ИНТЕГРАЦИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ОПИСАНИЯ ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Я. С. УРЕЦКИЙ, А. К. ВАЛЕЕВ, Л. С. ЦАРЕВ

Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева

Abstract. The questions of integration of telecommunication systems are considered. Using the system approach, in particular method morphological functionally - праксеологического descriptions the model of interaction of systems is received. The conditions of integration of telecommunication systems are received.

Как известно интеграция является глобальной закономерностью развития телекоммуникаций [1]. Она проявляется в объединении систем для получения новых услуг, во взаимопроникновении и поглощении информационных технологий, в совместном использовании ресурсов, интегрируемых систем, в объединении устройств коммутации и систем передачи и др.

Так как интеграция захватила все области телекоммуникаций и имеет всеобъемлющий характер, то при создании телекоммуникационных систем (ТКС) необходимо учиты-

вать интеграционные процессы. Поэтому необходимы методы, позволяющие обобщить сложность и многообразие проявлений интеграционных процессов для целей проектирования.

Предлагается воспользоваться методом обобщенного морфологического функционально–праксеологического описания (МФП) систем и проблем их создания [1,2]. Он позволяет с одной стороны рассматривать с единых позиций сложные и многообразные процессы и явления и в тоже время не оперирует сложными математическими моделями, что позволяет использовать данную методологию во многих частных задачах.

В докладе рассмотрено МФП описание взаимодействия систем. Показано, что морфологическое описание содержит множество ресурсов и связей; функциональное – операторы и свойства; праксеологическое – эффективность. На основе полученного МФП описания взаимодействия построена системная модель взаимодействия.

Ресурс системы – это объект МФП описания системы. В зависимости от поставленной задачи и иерархического уровня описания ресурсом может быть любая часть системы, ее элемент, параметр, функция, показатель качества, часть структуры, услуга и т.д. Таким образом любую систему можно задать абстрактным множеством ресурсов (абстрактным ресурсом) $R = R_m \cup R_\phi \cup R_n$, где R_m – подмножество абстрактного множества ресурсов, определяемое морфологическим описанием, R_ϕ – функциональным, а R_n – праксеологическим.

Абстрактный ресурс состоит из N элементов, т.е. $R = \{r_i / i = 1, N\}$, причем каждый элемент абстрактного ресурса принимает значение некоторой строковой (символьной) константы, например $r_i = \langle \text{параметр } \mathbf{5} _ \text{частота излучения} \rangle$. Но каждый элемент этого множества также характеризуется и некоторым числовым значением – количеством ресурса (или состоянием ресурса), то есть каждому элементу r_i из множества R , ставится в соответствие некоторое число c_i из множества $C = \{c_i / i = 1, N\}$. Указанное множество C является множеством скаляров и назовем его множеством состояний, которое образует в некотором пространстве C вектор состояний.

Например, такой ресурс, как частота излучения имеет численное значение количества ресурса – номинал излучаемой частоты, нормированный относительно 1 Гц, а состояние такого ресурса, как морфологический элемент системы, принимает значение «1» или «0», в зависимости от того есть он в рассматриваемой системе или нет.

Таким образом, множество R и множество C полностью задают систему, аналогично ее МФП описанию (см. рис. 2.1).

Используя ресурсное описание (РО) рассмотрим взаимодействие двух систем «1» и «2». Пусть до взаимодействия каждая из систем обладала абстрактным ресурсом ${}_1R^0 \subset R, {}_2R^0 \subset R$, где R – некоторый обобщенный абстрактный ресурс, причем ${}_1R^0 = \{r_i^0 / i = 1, N^0\}, {}_2R^0 = \{r_i^0 / i = 1, N^0\}, R = \{r_i / i = 1, N\}$. Соответственно для каждой из систем имеем множества состояний: ${}_1C^0 = \{c_i^0 / i = 1, N^0\}, {}_2C^0 = \{c_i^0 / i = 1, N^0\}$. В некотором пространстве состояний C , указанные множества образуют соответствующие вектора состояний, причем размерность пространства C $N_C = \max({}_1N^0, {}_2N^0)$.

В результате взаимодействия, произошло преобразование ресурсов: ${}_iR^0 \rightarrow {}_iR, {}_iR^0 \subset R, {}_iR \subset R$ и соответственно ${}_iC^0 \rightarrow {}_iC, {}_iC^0 \in C, {}_iC \in C$. Причем часть ресурсов « i »-ой системы расходуется на ее функционирование (ресурс функционирования), часть ресурсов передается системе партнеру (переданный ресурс), часть ресурсов теряет-

ся (потерянный ресурс) и часть ресурсов приобретается от системы партнера (приобретенный ресурс) (см. рис. 2.2).

Такое распределение ресурсов эквивалентно тому, что пространство состояний C разбивается на некоторые подпространства, а именно:

– подпространство состояний ресурса функционирования (${}_i R_\Phi$) $C^\Phi \subset C$ и соответствующие вектора ${}_i C_\Phi = \{{}_i^k c_\Phi\}$, ${}_i C_\Phi^0 = \{{}_i^k c_\Phi^0\}$, причем $k = \overline{1, {}_i N_\Phi}$, ${}_i C_\Phi \in C^\Phi$, ${}_i C_\Phi^0 \in C^\Phi$, где ${}_i N_\Phi$ – мощность множества ${}_i R_\Phi$;

– подпространство состояний приобретенного ресурса (${}_i R_\Psi$) $C^\Psi \subset C$ и соответствующие вектора ${}_i C_\Psi = \{{}_i^k c_\Psi\}$, ${}_i C_\Psi^0 = \{{}_i^k c_\Psi^0\}$, причем $k = \overline{1, {}_i N_\Psi}$, ${}_i C_\Psi \in C^\Psi$, ${}_i C_\Psi^0 \in C^\Psi$, где ${}_i N_\Psi$ – мощность множества ${}_i R_\Psi$;

– подпространство состояний затраченного на взаимодействие ресурса (ЗВР) (${}_i R_P$) $C^P \subset C$ и соответствующие вектора ${}_i C_P = \{{}_i^k c_P\}$, ${}_i C_P^0 = \{{}_i^k c_P^0\}$, причем $k = \overline{1, {}_i N_P}$, ${}_i C_P \in C^P$, ${}_i C_P^0 \in C^P$, где ${}_i N_P$ – мощность множества ${}_i R_P$.

Подпространство состояний ЗВР в свою очередь состоит из следующих субподпространств:

– подпространство состояний переданного ресурса (${}_i R_U$) $C^U \subset C^P \subset C$ и соответствующие вектора ${}_i C_U = \{{}_i^k c_U\}$, ${}_i C_U^0 = \{{}_i^k c_U^0\}$, причем $k = \overline{1, {}_i N_U}$, ${}_i C_U \in C^U$, ${}_i C_U^0 \in C^U$, где ${}_i N_U$ – мощность множества ${}_i R_U$;

– подпространство состояний потерянного ресурса (${}_i R_\rho$) $C^\rho \subset C^P \subset C$ и соответствующие вектора ${}_i C_\rho = \{{}_i^k c_\rho\}$, ${}_i C_\rho^0 = \{{}_i^k c_\rho^0\}$, причем $k = \overline{1, {}_i N_\rho}$, ${}_i C_\rho \in C^\rho$, ${}_i C_\rho^0 \in C^\rho$, где ${}_i N_\rho$ – мощность множества ${}_i R_\rho$;

Необходимо отметить, что ${}_1 R_U \neq {}_2 R_\Psi$, ${}_2 R_U \neq {}_1 R_\Psi$.

Установим правила определения соответствующих векторов и подпространств.

1. Подпространство и векторы состояния ресурса функционирования. Для любого $k = \overline{1, {}_i N_\Phi}$ справедливо, что ${}_i^k c_\Phi - {}_i^k c_\Phi^0 = 0$ и $\|{}_i C_\Phi - {}_i C_\Phi^0\| = 0$ в подпространстве $C^\Phi \subset C$.

2. Подпространство и векторы состояния приобретенного ресурса. Для любого $k = \overline{1, {}_i N_\Psi}$ справедливо, что ${}_i^k c_\Psi - {}_i^k c_\Psi^0 \geq 0$ и $\|{}_i C_\Psi - {}_i C_\Psi^0\| \neq 0$ в подпространстве $C^\Psi \subset C$.

3. Подпространство и векторы состояния ЗВР. Для любого $k = \overline{1, {}_i N_P}$ справедливо, что ${}_i^k c_P - {}_i^k c_P^0 \leq 0$ и $\|{}_i C_P - {}_i C_P^0\| \neq 0$ в подпространстве $C^P \subset C$.

Совокупность элементов вектора состояния ${}_1 C$ системы «I», для которых выполняется условие ${}_1 c_k \in {}_1 C^\Phi \vee {}_1 c_k \in {}_2 C^\Psi$, т.е. одновременно принадлежат пространству состоя-

ний ресурса функционирования системы «1» и пространству состояний приобретенного ресурса системы «2», образуют вектор состояний совместно используемого ресурса.

Аналогично совокупность элементов вектора состояния ${}_2C$ системы «2», для которых выполняется условие ${}_2c_k \in {}_2C^\Phi \vee {}_2c_k \in {}_1C^\Psi$, т.е. одновременно принадлежат пространству состояний ресурса функционирования системы «2» и пространству состояний приобретенного ресурса системы «1», также образуют вектор состояний совместно используемого ресурса.

Обозначим $\left| {}_iC \right|, \left| {}_iC^0 \right|$ – длины соответствующих векторов в пространстве C ;
 $\left\| {}_iC_\Phi - {}_iC_\Phi^0 \right\| = {}_i\Phi$; $\left\| {}_iC_\Psi - {}_iC_\Psi^0 \right\| = {}_i\Psi$; $\left\| {}_iC_p - {}_iC_p^0 \right\| = {}_iP$; $\left\| {}_iC_u - {}_iC_u^0 \right\| = {}_iU$; $\left\| {}_iC_p - {}_iC_p^0 \right\| = {}_iP$.

С учетом введенных справедливо следующее выражение:

$$\left| {}_iC \right| = {}_i\Phi + {}_i\Psi = \left| {}_iC^0 \right| + {}_i\Psi - {}_iU - {}_iP = \left| {}_iC^0 \right| + {}_i\Psi - {}_iP = \left| {}_iC^0 \right| + {}_i\Delta,$$

где ${}_iP = {}_iU + {}_iP$ – плата за взаимодействие, ${}_i\Delta = {}_i\Psi - {}_iP$ – относительный выигрыш от взаимодействия (обобщенное приращение количества ресурса)

Используя МФП описание проблемы получена соответствующая модель взаимодействия. Показано, что модель состоит из ресурсов систем до взаимодействия, после взаимодействия и матрицы преобразования ресурсов. Представлены результаты исследований модели взаимодействия систем. Проведена классификация взаимодействия систем.

Получены два условия, при которых возможно осуществление интеграции систем. Показано, что первое условие заключается в том, что диагональные подматрицы матрицы преобразования ресурсов должны быть единичными, а недиагональные – произвольные и ненулевые; второе – все подматрицы матрицы преобразования ресурсов произвольные и ненулевые, а обобщенный затраченный ресурс систем после взаимодействия равен обобщенному затраченному ресурсу систем до взаимодействия. Причем для осуществления интеграции достаточно выполнения любого из указанных условий.

Литература

1. Урецкий Я.С., Царев Л.С. Телекоммуникационные системы: Учебное пособие. – Казань: Издательство Казанского государственного технического университета, 1999.
2. Дружинин В.В, Конторов Д.С. Системотехника.—М.: Радио и связь, 1985.

СПУТНИКОВЫЕ МОДЕМЫ ДЛЯ СИСТЕМ СВЯЗИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ КАНАЛОВ ПО ТРЕБОВАНИЮ

Е. А. БРУСИН, А. А. НИКИТИН, Я. Ю. ЩЕРБАКОВ

ЛОНИИР – Ленинградский Отраслевой научно-исследовательский институт радио

Abstract This paper describes some fast synchronization methods for demodulators of satellite modems for DAMA systems. Velocity of synchronization is very important for these systems. Also DAMA modems have to work in two modes: continual and packet. New methods of synchronization for continual mode base on coherent processing in frequency area. Synchronization in packet mode is more sophisticated because packets create the information for DAMA system control channel and must be received with high reliability. Each packet starts with preamble to provide the information about carrier frequency. So synchronization in packet mode consists of two parts: detection of the packet preamble and rapid estimation of carrier frequency. The article discusses some problems connected with these two parts of synchronization and describes some methods of its solution.

1. Введение

Применение систем связи типа DAMA (Data Assigned Multiple Access)–систем с предоставлением каналов по требованию (ПКТ)- требует использования в таких системах относительно низкоскоростных каналов. В то же время предписанный в [1] диапазон поиска по несущей частоте может вызвать большие времена вхождения демодулятора в синхронизм.

В таком случае одной из важнейших проблем, возникающих при построении демодуляторов спутниковых модемов, работающих в системах связи с ПКТ, является проблема обнаружения сигнала на входе демодулятора и начальной синхронизации демодулятора по частоте несущей при существенных ограничениях на время вхождения в связь.

2. Краткий обзор известных методов вхождения в связь по несущей частоте

Широко известным методом вхождения в синхронизм по несущей частоте когерентных фазовых демодуляторов является метод свипирования во всей полосе частотной неопределенности входного сигнала [2,3]. Главным недостатком этого метода, как показано в [4], является большое время поиска, которое неприемлемо для систем с ПКТ.

Для сокращения времени начальной синхронизации в [5,6,7] предлагается ряд методов предварительной оценки частоты несущей входного сигнала.

Наиболее перспективными из них представляются методы, основанные на применении алгоритмов цифровой обработки сигналов, в частности, на использовании комплексного быстрого преобразования Фурье (БПФ) [7].

3. Методы обнаружения сигнала и оценки частоты несущей на входе демодулятора

3.1. Демодулятор в непрерывном режиме

Для сокращения времени вхождения в синхронизм предлагается алгоритм предварительной оценки частоты несущей входного сигнала.

В [7] описан алгоритм измерения частоты несущей фазомодулированного сигнала с помощью БПФ, основанный на анализе амплитудного спектра входного сигнала. По данным, приведенные в [7], для этого алгоритма средняя погрешность оценки частоты составляет $0,173R$, где R -частота передачи символов в канале связи.

Для улучшения оценки частоты несущей был разработан и исследован алгоритм, основанный на вычислении свертки амплитудного спектра сигнала с отсчетами амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) согласованного фильтра. В случае демодулятора спутникового модема согласованным фильтром можно считать фильтр Найквиста [2,5].

Пусть на вход демодулятора поступает комплексный цифровой сигнал с частотой дискретизации F_d . Вычислим амплитудный спектр входного сигнала демодулятора- S_i , $i=0,1,\dots,N-1$, используя для этого комплексный БПФ длиной N . Для оценки частоты вычисляется следующая свертка:

$$Sv_i = \sum_{k=0}^{J-1} (S_{i-k} + S_{i+1+k}) \cdot g_k \quad (1)$$

где g_k – отсчеты АЧХ согласованного фильтра, J – длина АЧХ согласованного фильтра.

Найдем величину индекса, соответствующего максимуму выражения (1).

$$M_{\max} = \max_i (Sv_i)$$

Тогда для оценки частоты несущей входного сигнала получим:

$$F_c = \left(M_{\max} - \frac{M}{2} \right) \cdot \frac{F_d}{N} \quad (2)$$

Здесь

$$M = \left\lceil \frac{\Delta F}{F_d} \cdot N \right\rceil,$$

ΔF – диапазон поиска демодулятора по частоте несущей.

Данный алгоритм был исследован на ЭВМ. Моделирование проводилось при следующих условиях: частота дискретизации $F_d=8R$, длина выборки данных $N=2048$, вид модуляции ФМ-4, отношение сигнал-шум на бит информации $E_b/N_0 = 4$ дБ.

Результаты моделирования показывают, что средняя погрешность оценки частоты составляет $0,02R \pm 0,03R$, что существенно лучше результатов, полученных в работе [7].

На низких скоростях передачи информации на входе демодулятора может присутствовать дополнительное мешающее воздействие в виде сигнала того же типа, отстроенного по частоте несущей от основного канала на величину $1,4R$. В некоторых случаях значительная часть спектра этого мешающего воздействия попадает в диапазон поиска.

Такую ситуацию иллюстрирует амплитудный спектр сигнала, представленный на рис.1.

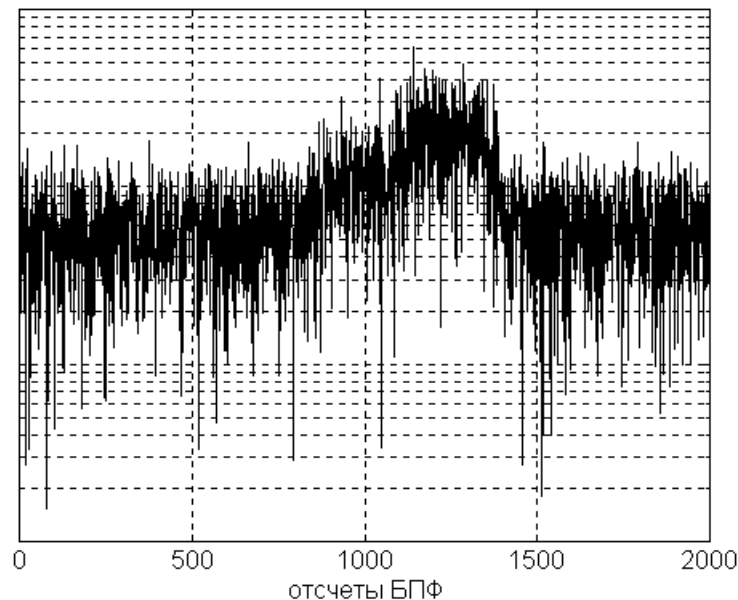


Рис.1. Амплитудный спектр сигнала на входе демодулятора.
Уровень мешающего воздействия на 7 дБ выше чем основной канал.
 $R=9600$ кбит/с ,ФМ-4, $E_b/N_0 =4$ дБ

В этом случае максимум свертки, вычисленный по (1), может не совпадать с оценкой частоты несущей входного сигнала. На рис. 2. изображен результат вычислений свертки по формуле (1) для такого случая.

При этом для оценки частоты несущей входного сигнала находится локальный максимум свертки- M_e , ближайший к центру диапазона поиска. Оценка частоты несущей находится по формуле:

$$F_c = \left(M_e - \frac{M}{2} \right) \cdot \frac{F_d}{N} \quad (3)$$

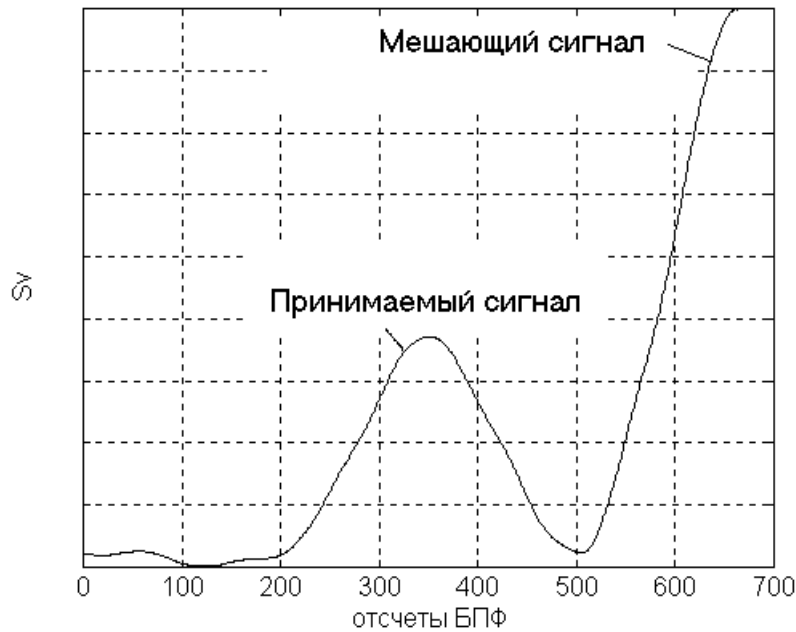


Рис.2. Результат свертки амплитудного спектра и АЧХ согласованного фильтра

Использование описанного алгоритма позволяет значительно сузить диапазон поиска и сократить время начальной синхронизации демодулятора по несущей частоте.

3.2. Демодулятор в пакетном режиме

В пакетном режиме входение в связь демодулятора по частоте несущей производится по преамбуле (как правило это – синусоида), передаваемой в начале пакета модулированного информационного сигнала.

В данном случае процесс начальной синхронизации демодулятора по несущей частоте можно подразделить на два этапа [2,8]:

- энергетическое обнаружение начала пакета,
- оценка частоты несущей входного сигнала.

Для обнаружения начала пакета в [8] предлагается процедура, основанная на контрастном обнаружении.

Однако, предлагаемые в работах [2,8] методы обнаружения сигнала и оценки частоты несущей для пакетных демодуляторов не рассчитаны для работы при указанной в [1] значительной частотной неопределенности входного сигнала.

Основное отличие предлагаемого метода контрастного обнаружения от метода, предложенного в [8], состоит в совмещении процедуры обнаружения и оценки частоты. Для этого используется так называемый скользящий комплексный БПФ. При вычислении спектра сигнала с помощью скользящего БПФ, как показано в [9], может быть использована некая рекуррентная процедура, которая не требует первоначального накопления N -точечной выборки входного сигнала для получения спектральной выборки длиной N .

Для энергетического обнаружения вычислим скользящий комплексный БПФ длиной K . И будем хранить I временных выборок спектра мощности входного сигнала $W(k, i)$, где $k=0, 1, \dots, K-1$, $i=0, 1, \dots, I-1$. $W(k, i)$ можно трактовать как двумерный спектр мощности входного сигнала, где k отображает ось частот, а i – временную ось.

Процесс контрастного обнаружения начала пакета поясняет рис.3.

При появлении преамбулы на входе демодулятора выполняются условия контрастного обнаружения по оси времени в максимальной по уровню частотной компоненте.

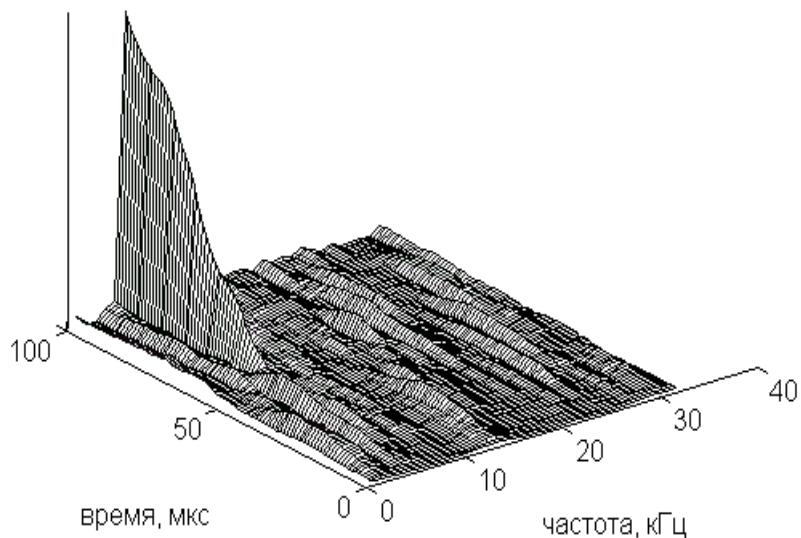


Рис.3. Спектр сигнала на входе демодулятора в начале преамбулы

По номеру этой частотной компоненты скользящего БПФ получается грубая оценка частоты несущей входного сигнала.

На втором этапе начальной синхронизации демодулятора, работающего в пакетном режиме, производится уточненная оценка частоты несущей.

Для реализации алгоритма оценки частоты несущей может быть использован метод, основанный на применении набора полосовых фильтров [8].

Точность оценки частоты несущей определяется числом фильтров и длительностью временного интервала, отведенного для оценки частоты.

Применение предложенного алгоритма совмещенного обнаружения и оценивания позволяет сократить время, затрачиваемое на точную оценку частоты несущей входного сигнала и улучшить отношение сигнал/шум на входе системы оценивания частоты демодулятора в течении процедуры точной оценки частоты несущей.

4. Выводы по результатам реализации предложенных методов

Использование предложенных алгоритмов оценки частоты в непрерывном режиме позволяет полностью отказаться от свипирования во всей полосе поиска, обеспечив при этом приемлимое среднее время синхронизации демодулятора.

Описанные методы обнаружения сигнала были использованы при построении демодулятора, работающего в пакетном режиме на информационной скорости 64 кбит/с. При этом на обнаружение и оценку частоты при диапазоне поиска 50 кГц удается затрачивать не более 100 символьных интервалов, при отношении сигнал/шум на бит информации 7дБ средняя погрешность оценки частоты не превышает 50 Гц.

Предложенные в работе методы начальной синхронизации по несущей частоте были реализованы при разработке в ЛОНИИР серии новых спутниковых модемов М-64, УМ-128 и М-2500, ориентированных на работу в системах спутниковой связи с предоставлением каналов по требованию.

Литература

1. INTELSAT. INTELSAT EARTH STATION STANDARTS (IESS). Performance characteristics for INTELSAT business services (IBS). Document IESS-308(Rev. 9). APPROVAL DATE: 30 november 1998.

2. Lee L.-N., Shenoy A., Eng M.K. Digital processor-based programmable BPSK/QPSK/offset-QPSK modems//Comsat Technical Review. 1989, vol. 19, № 2.
3. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь.- М.: Связь, 1979.
4. Федоров В.Н. Методы повышения качества цифровой связи (обзор японских патентов). Зарубежная техника связи. Сер. Радиосвязь, радиовещание, телевидение:Экспресс-информ. 1989, вып. 19, стр. 1-14.
5. F. M. Gardner, "Properties of frequency difference detectors", IEEE Trans.on Comm., Vol Com-33, No. 2, February 1985, p. 131-138.
6. Aldo N. D'Andrea, Umberto Mengali, "Design of quadricorrelators for automatic frequency control systems", IEEE Trans.on Comm., Vol 41, No. 6, June 1993, p. 988-997.
7. Симашко В. И. Измерение частоты несущей фазоманипулированного сигнала с помощью быстрого преобразования Фурье. Радиотехника, 1993 г., N 10-12, стр. 23-28.
8. Chris Heegard, Jerrrold A. Heller, Andrew J. Viterby, "A microprocessor-based PSK modem for packet transmission over satellite channels", IEEE Trans. on Comm., 1978, Vol. Com-26, N 5, pp. 552-564.
9. Tom Springer "Sliding FFT Computes Frequency Spectra in Real Time", EDN magazine, Sept 29, 1988.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАБИЛИЗИРОВАННЫХ ВРАЩЕНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ НА ГЕО И НЕО ОРБИТАХ

А. А. ГРИЦЕНКО

ЗАО "Информационный Космический Центр "Северная Корона"

Abstract. The author represents some researches outcomes of "Information Space Center " Severnaya Corona " on development of perspective spin stabilized small satellites for GEO and HEO. The author considers the basic advantages of spin stabilized small satellites and some engineering solutions directed on overcoming of reached limiting ratio in the field of communication satellites creation. The considered technologies will be used in a perspective satellite communications system "Kentavr".

Проблема и ее актуальность

Динамичное развитие рынка спутниковых телекоммуникаций непосредственно связано с решением проблем повышения оперативности развертывания новых систем спутниковой связи и вещания (ССС), сокращения сроков окупаемости, удовлетворения быстро растущих потребностей потенциальных пользователей.

Одним из направлений решения данных проблем является использование малых космических аппаратов (МКА). МКА имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с космическими аппаратами (КА) среднего и тяжелого класса. В [1] представлен подробный материал по их классификации и преимуществам практического использования.

В силу ряда причин в настоящее время МКА получили практическое использование в СССР, развертываемых на низких орбитах (LEO). Это связано с тем, что к спутникам на таких орбитах предъявляются менее жесткие требования. В частности:

- не требуется использование крупноапертурных антенных систем;
- низкие требования к мощности системы энергоснабжения;
- низкие требования к точности системы угловой ориентации и стабилизации (СУС) спутника (единицы градусов);
- относительно малый (до 5..7 лет) срок активного существования спутника (вследствие влияния атмосферы);
- как правило, не требуется установка системы коррекции орбиты.

Это позволяет существенно сократить состав и массово-габаритные характеристики приборного комплекса МКА, а также использовать достаточно простые типы систем управления (например, пассивные гравитационная или аэродинамическая).

Тем не менее продолжается развитие региональных СССР, орбитальные группировки (ОГ) которых развертываются на геостационарной (GEO) или высокоэллиптической (HEO) орбитах. При этом, в ряде случаев экономически более целесообразным является

использование в ОГ таких ССС малых КА [1]. Однако, разработка МКА для высоких орбит связана с рядом трудностей, так как к ним предъявляются более жесткие требования. В частности:

- требования по точности системы угловой ориентации и стабилизации - не хуже единиц угловых минут;
- требования по точности системы навигации и системы коррекции орбиты - не хуже 0.15 град;
- необходимость использования крупноапертурных антенных систем.

Данные требования существенно усложняют бортовой комплекс управления (БКУ), а необходимость использования крупноапертурных антенн (например, для систем подвижной и персональной связи диаметр антенны - 12 м) создают труднопреодолимые препятствия на пути разработки таких МКА. Одними из последних работ в этой области в России являются проекты "Руслан-ММ" НПО Машиностроения и "Диалог" ГНПЦ им.М.В.Хруничева с полной массой МКА около 600 кг. Данные характеристики получены благодаря микроминиатюризации приборного состава БКУ, а также развитию технологий сеточных развертываемых бортовых антенных систем.

Тем не менее существует устойчивый спрос на малоствольные (от 1 до 5) МКА с полной массой от 100 до 300 кг.

Другой центральной проблемой является повышение процентного соотношения массы полезной нагрузки к полной массы КА. Это позволяет при прочих равных условиях повысить пропускную способность спутника связи и сделать его более коммерчески привлекательным.

Проблемные направления разработки МКА для GEO и НЕО

Учитывая, что наибольшая технологичность достигнута в области создания КА среднего и тяжелого класса, можно выделить следующие основные проблемные направления в технологии создания малых КА связи и вещания:

- сохранение достигнутых в классе тяжелых КА предельных соотношений между основными характеристиками платформы и полезной нагрузки, например, отношение массы полезной нагрузки к полной массе КА (до 25..30%); отношения потребляемой мощности БРТК к мощности системы энергоснабжения (до 70..75%) и др.;
- сохранение достигнутых в классе тяжелых GEO КА тактико-технических характеристик платформы спутника связи, прежде всего по таким параметрам как точность угловой ориентации и стабилизации, коррекция орбиты, срок активного существования;
- сохранение достигнутых в классе тяжелых GEO КА тактико-технических характеристик подсистемы связи, прежде всего энергетических характеристик линий спутниковой связи, эффективности использования выделенного радиочастотного ресурса.

Необходимо отметить, что рассмотренные процентные соотношения стали предельными. Дальнейшие попытки их преодолеть приводят к резкому росту стоимости, усложнению конструкции КА и снижению его надежности.

Одним из направлений решения данных проблем является использование стабилизированных вращением МКА.

Стабилизированные вращением МКА

Исследования по разработке НЕО и GEO малых КА ведутся в ЗАО "Информационный Космический Центр "Северная Корона" в рамках проекта ССС "Кентавр" в кооперации с НПО Машиностроения, 16 ЦНИИИ МО РФ, ЛОНИИР.

В ходе исследований был сделан вывод о целесообразности разработки МКА для перспективных GEO и НЕО систем с отказом от классических схем трехосно стабилизированных спутников. Это было связано с тем, что для преодоления достигнутых в классе

стабилизированных по трем осям спутников связи соотношений одним из наиболее целесообразных вариантов является стабилизация малого спутника связи вращением.

Стабилизация вращением – один из наиболее эффективных видов стабилизации, широко используемый в природе. Например, относительная неподвижность земной оси обеспечивается за счет ее вращения. Основы теории стабилизированных вращением КА представлены в [2].

Такое решение позволяет достигнуть следующих результатов:

- обеспечить высокую точность угловой ориентации и стабилизации;
- снизить энергетические затраты на управление угловым положением;
- упростить приборный состав БКУ и, соответственно, сократить массово-габаритные характеристики и повысить надежность платформы МКА.

Это достигается тем, что стабилизированный вращением МКА является по сути свободным гироскопом и обладает рядом ценных с практической точки зрения свойств:

- естественным образом и практически без энергетических затрат с достаточно высокой точностью удерживает свою пространственную ориентацию (определяемую нутационными колебаниями корпуса);
- для изменения угловой ориентации требует меньших энергетических затрат, а сам процесс переориентации занимает более короткое время;
- существенно упрощается необходимый приборный состав платформы МКА с одновременным возрастанием нагрузки на программно-алгоритмическое обеспечение.

Рассмотрим эти свойства более подробно. Предположим, необходимо обеспечить угловой разворот спутника по углу тангажа.

Для трехосно стабилизированного КА необходимо приложить момент по этой же оси и после разворота спутника погасить угловую скорость разворота путем создания противомомента.

Для КА стабилизированного вращением момент прикладывается по оси крена и спутник прецессирует по углу тангажа. В момент достижения требуемого углового положения управляющий момент снимается и угловой разворот прекращается (пассивными демпфирующими устройствами гасятся нутационные колебания).

Сравнение энергетических затрат можно провести путем сравнения прикладываемых управляющих моментов. Расчеты показали, что при прочих равных условиях, для управления угловым положением вращающегося КА необходимо прикладывать моменты на два порядка меньше, чем для трехосно стабилизированного КА. Следовательно и энергетические затраты на угловую ориентацию стабилизированного вращением спутника будут значительно меньше.

Данный эффект объясняется тем, что вращающийся спутник отдает часть своей энергии на собственное изменение своего углового положения в пространстве. В данном случае имеет место так называемый «принцип усиления момента».

Кинетический момент вращающегося спутника выполняет роль рычага. Следовательно, управлять положением тела можно меньшими усилиями, пропорционально отношению плечей (выигрыш по силе), однако перемещение осуществляется с меньшей скоростью (проигрыш по оперативности).

Таким образом, исполнительное устройство (ИО) СУС стабилизированного вращением КА по мощности может быть на два порядка меньше аналогичных ИО стабилизированных по трем осям КА. Если считать, что мощность и масса ИО связаны квадратичной зависимостью, то для управления стабилизированного вращением КА масса ИО будет в 10 раз меньше.

Достаточно большие проблемы связаны с обеспечением высокой точности угловой ориентации КА. Причем в основе этих проблем лежит не отсутствие прецизионных приборов БКУ, а резкий (почти экспоненциальный) рост энергетических затрат на удержание

спутника в требуемом угловом положении. При работе в прецизионном режиме СУС может войти в непрерывный автоколебательный режим активного управления угловым положением платформы. В этом случае точность угловой ориентации КА будет определяться амплитудой автоколебаний, а СУС будет непрерывно потреблять электроэнергию. Поэтому, для снижения энергетических затрат зачастую принудительно заглубляют канал управления: механически – непосредственно в командно-измерительных приборах, либо алгоритмически – в БЦВК.

В трехосно стабилизированных КА для управления угловым движением в настоящее время используют блок из трех маховиков. В стабилизированном вращении КА управление угловым положением спутника-гироскопа может осуществляться одним гироскопом-маховиком (трехстепенной гироскоп с возможностью перевода в режим двухстепенного). Причем, массово-габаритные характеристики гироскопа-маховика могут быть существенно меньше, чем аналогичные параметры одного из трех маховиков исполнительной системы невращающегося КА, что определяется использованием принципа усиления момента.

Пленочная конструкция антенной системы

Для решения проблем развертывания на МКА крупноапертурных антенных систем отработывается технология тонкопленочных антенных систем. Исследуются варианты развертывания и удержания требуемого качества поверхности антенн за счет центробежных сил вращающегося аппарата. Основные достоинства таких конструкций - достаточно малая масса и небольшие габариты в сложенном состоянии.



Рис. Стабилизированный вращением КА ЛИК

Внешний вид рабочего варианта стабилизированного вращением КА ЛИК с тонкопленочной антенной конструкцией представлен на рисунке.

Выводы

Стабилизация малого КА вращением и использование развертываемой центробежными силами вращающегося аппарата тонкопленочной антенной системы практически без жестких элементов конструкции позволяет преодолеть достигнутый предел по процентному соотношению массы полезной нагрузки к полной массе КА.

Использование отработываемых технических решений позволит создать малый спутник связи с высоким процентным соотношением массы полезной нагрузки к полной массе КА (до 35..45%).

Литература

1. Ефремов Г.А., Витер В.В. Липатов А.А. и др. Малые спутники в сетях связи и вещания// Технологии и средства связи. 2000. №1
2. Артюхин Ю.П., Каргу Л.И., Симаев В.Л. Системы управления космических аппаратов, стабилизированных вращением. М.: Наука, 1979, 296 с.

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ И СЕТЕЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ СТРУКТУР РФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. А. ЛИПАТОВ
16 ЦНИИИ МО РФ

Abstract. The systems of satellite communication of state structures should provide granting of services in various, as a rule unfavorable, conditions for fixed and mobile objects. Thus space vehicle both on geostationary, and on elliptical orbits, intersatellite lines and ground items is necessary to use. The control system space vehicle owes is in management of the state.

Система спутниковой связи государственных структур должна обеспечивать возможность управления государством и, в первую очередь, силовыми министерствами и ведомствами в чрезвычайных условиях и ситуациях.

Основной отличительной особенностью данных систем является обеспечение предоставления услуг по передаче информации в условия преднамеренных воздействий на нее, а также стихийных бедствий.

В настоящий момент для построения систем и сетей спутниковой связи, работающих в интересах отечественных государственных структур, используются космические аппараты (КА) с массой более 2 т.

Одним из путей дальнейшего развития системы спутниковой связи отечественных государственных структур является возможность создания в дополнение к традиционным КА связи «тяжелого» класса (с массой 2 т), космическими аппаратами с массой порядка 0,7-1,3 т на орбите.

Целесообразность рассмотрения возможности использования в системе спутниковой связи малых КА обуславливается рядом факторов. К числу ключевых факторов можно отнести:

- обеспечение возможности гарантированного запуска КА с территории России с использованием ракет-носителей легкого и среднего класса;
- обеспечение группового запуска 2-х и более КА одной тяжелой ракетой-носителем с космодрома Байконур;
- необходимость развертывания орбитальной группировки (ОГ) из нескольких КА для обеспечения трех-четырёх кратного перекрытия зон радиовидимости КА на территории страны и возможности работы станций спутниковой связи сухопутных подвижных объектов через несколько КА при максимально возможных углах места;
- снижения расходов на создание и развертывание орбитальной группировки КА, используемых в интересах связи государственных структур.

Учитывая ярко выраженный характер неравномерности размещения абонентов системы по пространству и времени, обуславливающий необходимость концентрации основных ресурсов пропускной способности системы в одном или нескольких регионах страны, целесообразно в состав орбитальной группировки системы включить КА, развертываемые как на высокоэллиптической орбите, так и геостационарной орбите.

Данное построение ОГ обеспечит возможность работы практически на всей территории страны станциям спутниковой связи сухопутных подвижных объектов при углах места на КА более 40-50 градусов.

При этом КА на высокоэллиптической орбите, в первую очередь, будут обеспечивать:

- связь подвижных объектов при их движении по пересеченной местности;
- передачу циркулярной и циркулярно-избирательных сообщений одновременно для абонентов, расположенных на всей территории страны;

- организацию связи между абонентами, не попадающими в зону обслуживания КА на геостационарной орбите.

Космические аппараты, развертываемые на геостационарной орбите, в первую очередь, будут обеспечивать:

- организацию магистральных направлений связи между стационарными станциями;
- передачу, по требованию, больших объемов информации на стационарные, мобильные и подвижные станции;
- связь подвижных абонентов, находящихся на стоянке и имеющих в своей зоне обзора геостационарные спутники.

Для сокращения затрат и сроков по созданию малых КА в качестве платформ могут быть рассмотрены модифицированные платформы, созданные или разрабатываемые по проектам «Ямал-100», «Экспресс-1000», «Руслан-ММ», «Яхта» и др. В состав бортового ретрансляционного комплекса (БРТК) могут войти элементы БРТК КА «Экспресс», «Ямал», «Радуга-1», «Садко» и др., обеспечивающие работу средств системы в диапазонах ДЦВ, СМВ и ММВ.

В БРТК предусматривается обеспечивать обработку широкополосных помехоустойчивых сигналов. Для снижения массогабаритных характеристик наземных станций спутниковой связи, а также повышения устойчивости функционирования линий спутниковой связи КА системы целесообразно оснастить крупногабаритными антеннами, аналогом которых может являться антенная система, планируемая к установке на КА системы «Садко».

Для обеспечения спутниковой связи при движении подвижных объектов на пересеченной местности в системе планируется предусмотреть возможность встречной работы абонентов через различные КА, входящие в состав ОГ, за счет наземных ретрансляционных пунктов или межспутниковых линий.

Для повышения качества связи станции спутниковой связи подвижных объектов, при их движении по пересеченной местности, целесообразно использовать в подсистеме автоматического управления станции цифровую картографическую информацию о рельефе местности, а также оснастить станции оборудованием, позволяющим обеспечить одновременный прием информационных сигналов или сигналов маяка от нескольких КА, входящих в состав ОГ системы. При этом данные сигналы могут быть использованы и для навигационного обеспечения подвижных объектов.

Управление космическими аппаратами, бортовыми ретрансляционными комплексами, а также системой, сетями и станциями связи, входящими в состав системы, должно осуществляться государственными структурами.

При этом управление КА должно осуществляться организациями, обеспечивающими их запуск и эксплуатацию.

Управление бортовыми ретрансляторными комплексами КА связи должно обеспечиваться как организациями, осуществляющими запуск и эксплуатацию КА, так и организацией, обеспечивающей функционирование системы связи.

В системе предусматривается обеспечить передачу как закрытых телефонных переговоров, так и передачу данных. При этом передача данных планируется осуществить как с использованием дуплексных направлений связи, так и в асимметричных сетях передачи данных.

Следует отметить, что системы связи государственных структур, создаваемые на основе "малых" КА могут быть реализованы и для экспортного применения.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ В РЕГИОНАХ СО СЛОЖНОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКОЙ

А. А. Липатов¹, А. А. Степанов¹, С. П. Приходько¹, А. В. Шестаков², В. П. Аливохин²

¹ИЦНИИ МО РФ, ²ОАО "Газком"

Abstract. Nowadays and visible perspective a satellite communications systems will keep the steady tendencies of the development both extensions of volumes and kinds of communication services submitted to the users, thus the steady tendency was scheduled, at which earth-based satellite communications complex, including user's terminals and satellite control stations, is installed in immediate proximity from the users, which in turn place in large cities. This accommodation of satellite communication terminals results in appearance of extremely difficult electromagnetic conditions. One of possible ways of a EMC problem solution is addition to a earth stations structure of an automatic spatial interference indemnification system, which provides directional diagram nulling of a station's receiving system in a interference direction.

В настоящее время и обозримой перспективе системы спутниковой связи (ССС) сохраняют устойчивые тенденции своего развития и расширения объемов и видов услуг связи, предоставляемых своим пользователям. Одним из основных элементов ССС является бортовой ретрансляционный комплекс, установленный на космическом аппарате (КА) связи, вращающимся вокруг Земли. Обеспечение устойчивого управления КА связи является одной из основных задач по поддержанию ССС в рабочем состоянии, так как потеря управления КА связи может привести к потере КА, а соответственно ресурса пропускной способности ССС. Следующим основным элементом системы спутниковой связи является оконечная (узловая, центральная) станция спутниковой связи, обеспечивающая предоставление услуг, в том числе коммерческого использования, конечному пользователю.

Как правило станции управления КА, а также земные станции (ЗС) спутниковой связи с крупногабаритными антеннами выносятся далеко за пределы крупных городов, используя естественный рельеф местности для экранировки от размещаемых вблизи радиоэлектронных средств, с последующей привязкой по радиорелейной или волоконно-оптической линии связи к пунктам управления.

В настоящее время наметилась устойчивая тенденция, при которой земной комплекс средств спутниковой связи, включая пользовательские терминалы и станции управления КА, устанавливается в непосредственной близости от пользователей, которые в свою очередь располагаются в крупных городах.

Такое размещение средств спутниковой связи приводит к тому, что в местах их сосредоточения возникает чрезвычайно сложная электромагнитная обстановка, обусловленная следующими факторами:

- применением крупногабаритных антенных систем в промышленной зоне (при этом возможна ситуация, при которой на вход антенной системы будет воздействовать большое количество индустриальных помех);
- установка крупногабаритных антенн вблизи крупных городов (в больших городах, как правило, достаточно сложная электромагнитная обстановка из-за большого количества работающих радиоэлектронных средств);
- сложный рельеф близлежащей подстилающей поверхности (наличие высотных железобетонных зданий может создать большое количество переотраженных лучей, которые по случайному закону могут воздействовать на вход антенных систем);
- во многих случаях не проводится исследование электромагнитной обстановки и не разрабатываются мероприятия по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) в местах размещения станций спутниковой связи или управления.

При этих условиях размещения средств спутниковой связи решение вопросов электромагнитной обстановки организационными мероприятиями может быть невыполнимо.

Одним из возможных способов решения проблемы ЭМС при таких ситуациях может быть введение в состав ЗС спутниковой связи системы автоматической пространственной компенсации помех, которая с помощью адаптивных антенных устройств обеспечивает формирование «нуля» диаграммы направленности приемной системы станции в направлении прихода помех (рис.1).



Рис. 1. Система автоматической компенсации помех

Структурная схема системы автоматической компенсации помех для ЗС может иметь вид, представленный на рис. 2.

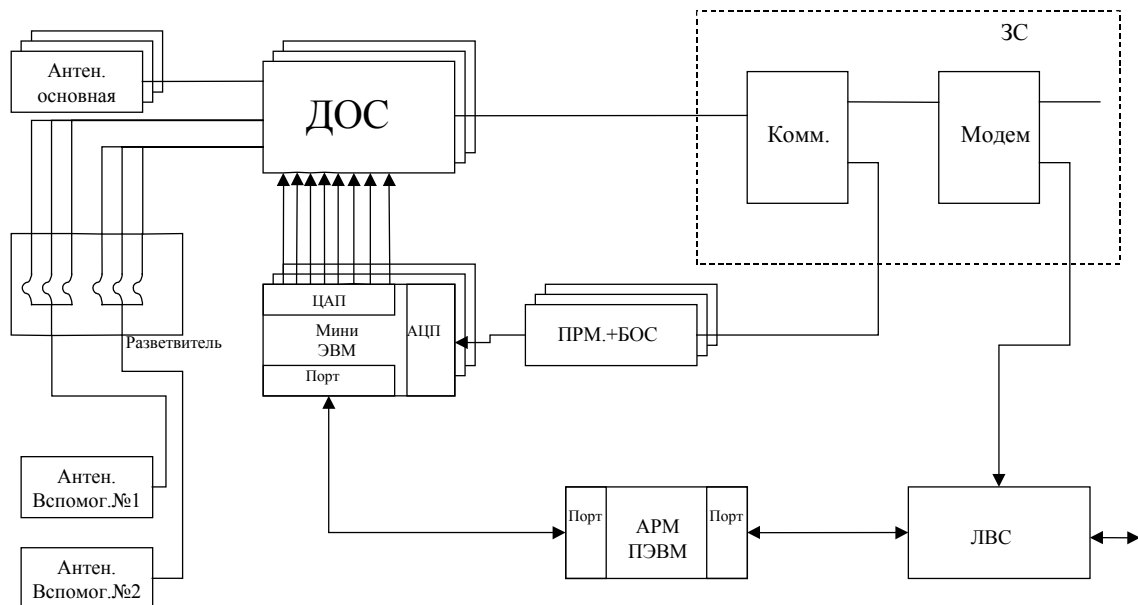


Рис. 2. Структурная схема системы автоматической компенсации помех

В состав системы автоматической компенсации помех должны входить:

- вспомогательные антенно-фидерные тракты;
- диаграммо-образующая схема;

- спец. процессор (мини-, микро-ЭВМ);
- приемный блок обработки сигналов;
- автоматизированное рабочее место (опционно).

Отметим основные технические особенности построения элементов системы автоматической компенсации помех.

Вспомогательные антенны. В качестве вспомогательных антенн можно рассмотреть два варианта:

1. антенны небольшого диаметра (0,6÷1,6 м), промышленного исполнения;
2. дополнительные облучатели, устанавливаемые на зеркале основной антенны.

Основное назначение вспомогательных антенн - это выделить "чистый" мешающий сигнал (помехи), с последующим его вводом в диаграммо-образующую схему. В соответствии с этим, максимум диаграммы направленности вспомогательной антенны должен быть направлен на источник помехи. Установка максимума диаграммы направленности вспомогательной антенны на источник помехи производится вручную в процессе установки антенны на рабочей площадке.

Диаграммо-образующая схема. Диаграммо-образующая схема предназначена для суммирования высокочастотных сигналов (мешающего и полезного), с одновременной независимой регулировкой фазы и усиления по мешающему сигналу.

Диаграммо-образующая схема (ДОС) реализуется на базе комплексных регуляторов фазы и амплитуды сигнала с диапазоном изменения фазы $0^\circ \div 360^\circ$ и амплитуды в динамическом диапазоне до 30 дБ.

Такая схема позволяет получить на выходе ДОС практически произвольный уровень помехи (мешающего сигнала) с необходимым значением фазы.

Приемный блок обработки сигнала. Приемный блок обработки сигналов предназначен для детектирования выделенной смеси сигнал + помеха, с последующим разделением для получения постоянной составляющей и огибающей смеси сигнал + помеха. Эти величины используются в качестве управляющего напряжения после аналого-цифрового преобразования (АЦП).

Специальный процессор. Основное назначение спец. процессора - это получение от приемного блока обработки сигналов и выработка управляющих напряжений на элементах цифро-аналогового преобразования (ЦАП) для управления диаграммо-образующей схемой в соответствии с алгоритмом компенсации помех. Спец. процессор выполняет также функцию взаимодействия с автоматизированным рабочим местом (АРМ) оператора.

Автоматизированное рабочее место. Основное назначение АРМ оператора, после ввода в состав системы автоматической компенсации помех, является управление и мониторинг составных элементов системы

Конструктивно система автоматической компенсации помех будет представлять 3 функциональных узла:

- вспомогательные антенны, размещаемые на крыше, на незначительных расстояниях от основных антенн ЗС, а также фидерные тракты от вспомогательных антенн до стойки системы;
- стойка системы автоматической компенсации помех (в состав которой будет входить диаграммо-образующие схемы, мини-ЭВМ, приемники и блоки обработки сигналов, разветвитель питания, по необходимости вторичные источники питания), размещается в помещении, где расположено высокочастотное оборудование ЗС;
- автоматизированное рабочее место, размещается в помещении, где расположены рабочие места операторов ЗС.

Испытания, проведенные на базе оборудования ОАО "Газком", показали, что степень подавления помех в рабочих трактах ЗС составляет до 20-25 дБ, при этом потери

вносимые системой автоматической компенсации помех в тракт основной антенны ЗС составляют не более 1,5-3 дБ.

Таким образом, применение системы автоматической компенсации помех может повысить помехоустойчивость систем спутниковой связи для ЗС, установленных в неблагоприятных, с электромагнитной точки зрения, условиях, когда выполнение традиционных организационных мероприятий не позволяет решить данную проблему.

Направлениями дальнейших исследований в данной области является разработка устройств, позволяющих проводить компенсацию радиопомех, приходящих с различных, не определенных заранее, направлений.

РОССИЙСКИЙ СЕГМЕНТ СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРСКИХ СУДОВ НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. Н. СЕМКИН, В. И. ЧЕРЕМУШКИН, С. В. ХРЫКОВ

Научно-технический центр «Навигатор-И»

Abstract. The article is headlined "Russian segment of satellite system of monitoring of sea vessels built on the small-sized satellites produced in Russia". The article deals with operational and technical aspects of creating the satellite system of monitoring of sea vessels built on the small-sized satellites. The article is devoted to the decisions of constructing the orbital group of the system and the organization of the satellite channels for collecting data and the exchange of information between vessels and coast monitoring centers. The decisions suggested are innovative and cost-saving. They are characterized by a low degree of risk and by the realization feasibility in the shortest period. The users of the system are offered a more wide range of services in comparison with Inmarsat-C and are guaranteed sensitive information and information integrity.

В настоящее время основные задачи по мониторингу морских объектов решаются в рамках Международной спутниковой системы «Инмарсат-С». При этом обеспечивается практически глобальное обслуживание судов и решается ряд задач по определению их местоположения, обмену сообщениями между капитанами судов и центрами мониторинга, обмену экстренными сообщениями об аварийных ситуациях, трансляции телеметрических данных с датчиков дистанционного технического контроля, устанавливаемых на судах. Вместе с тем опыт практической эксплуатации показывает, что построение отечественной системы мониторинга судов на базе стандарта Инмарсат-С сталкивается со следующими тремя основными трудностями. Во-первых, высокой стоимостью судовых спутниковых терминалов и предлагаемых услуг по передаче данных, во-вторых, отсутствием Российского сегмента системы и, в-третьих, практической не реализуемостью целостной системы мониторинга судов.

Первое обстоятельство делает такую систему экономически нерентабельной, так как затраты на ее развертывание и эксплуатацию значительно превышают прогнозируемый эффект от ее внедрения. Второе обстоятельство значительно затрудняет решение ряда организационно-технических задач по подключению отечественных датчиков дистанционного технического контроля судовых параметров и практически не обеспечивает целостность и конфиденциальность передаваемых данных. Третье обстоятельство не позволяет реализовать контур управления судами с требуемыми сервисами и вероятностно-временными параметрами.

Все это определило актуальность проведения комплексных исследований, а также постановки и решения ряда задач системного проектирования Российского сегмента спутниковой системы мониторинга морских судов на базе отечественных малоразмерных космических аппаратов. Такая задача, в частности, решалась в интересах Государственного

комитета Российской Федерации по рыболовству кооперацией научных организаций: Научно-технического центра «Навигатор-И», г. Москва, Информационно-Космического центра «Северная Корона» и Ленинградского отраслевого научно-исследовательского института Радио, г. Санкт-Петербург, а также в рамках программы создания Федеральной системы мониторинга объектов и ресурсов (головной исполнитель работы - ГНПЦ им. Хруничева).

Основная цель создания отечественной спутниковой системы мониторинга морских судов (ССММС) - обеспечение эффективного контроля местоположения и состояния судов на федеральном, региональном и отраслевом уровнях в интересах создания действенного инструмента оптимизации и регулирования экономической деятельности страны, экономии ресурсов и решения задач обмена мониторинговой информацией между различными потребителями и источниками, обеспечения целостности и конфиденциальности передаваемых и обрабатываемых данных.

Потенциальными объектами мониторинга являются морские суда различных классов и различного назначения, для которых определены перечни типовых контролируемых параметров, потребности по детальности, точности и периодичности обновления информации об их местоположении, деятельности, состоянии основного оборудования, а также контроль целостности перевозимых грузов или результатов промысловой деятельности.

В рамках спутниковой системы мониторинга морских судов планируется предоставление пользователям следующих видов услуг:

- определение и доставку в Центры мониторинга данных о местоположении судов, в течение всего времени их нахождения вне портов приписки;
- трансляцию телеметрических данных с датчиков дистанционного технического контроля об объемах вылова биоресурсов, расходе топлива и воды, состоянии перевозимых грузов;
- обмен сообщениями между капитанами судов и соответствующими Центрами мониторинга в режиме электронной почты;
- обмен экстренными сообщениями (команды, данные об аварийных ситуациях и попытках незаконных (пиратских) действий в отношении судов между Центрами мониторинга и любым из судов;
- обеспечение телефонных переговоров членам экипажей судов, находящихся в море, с абонентами на территории России или за рубежом.

По своему составу спутниковая система мониторинга морских судов включает: подсистему связи и передачи данных; подсистему датчиков определения местоположения и состояния объектов мониторинга; подсистему обработки и анализа мониторинговой информации и состоит:

- из космического сегмента, содержащего группировку спутников связи;
- из судовых станций, содержащих ресиверы навигационных систем ГЛОНАСС+GPS, оборудование обмена данными через спутники связи и интерфейс для подключения внешних устройств (датчики, клавиатура и др.);
- из береговых станций управления, территориально и организационно-технически объединенных с Региональными и Федеральным центрами мониторинга;
- из региональных и федерального центров мониторинга (РЦМ и ФЦМ);
- из технических средств и каналов для обеспечения непосредственной связи между всеми Региональными центрами и Федеральным центром мониторинга, а также из программно-аппаратных комплексов обработки, отображения, документирования, анализа и распределения данных.

По своим функциональным и организационно-техническим характеристикам спутниковая система мониторинга морских судов может быть отнесена к классу глобальных

систем контроля подвижных объектов с широким спектром предоставляемых услуг. Основной обмен данными в системе будет осуществляться в автоматическом режиме.

Основу телекоммуникационной составляющей ССММС составит выделенная сеть спутниковой связи. Основные требования, предъявляемые к ней, определяются необходимостью глобального обслуживания судов и жесткими требованиями к времени доставки информации от судов в центр и обратно. Это обстоятельство, в совокупности с проведенным анализом состояния и перспектив развития отечественных систем спутниковой связи, позволило обоснованно предложить в качестве основного варианта построения космического сегмента ССММС использование малоразмерных космических аппаратов отечественного производства, выводимых на геостационарную орбиту в точки, выделенные Российской Федерации.

Для обеспечения высокой конкурентоспособности системы, высоких показателей рентабельности и сроков окупаемости она должна быть ориентирована на использование L-диапазона и развертываться на базе малых космических аппаратов производства НПО Машиностроения или ГНПЦ им. Хруничева. Спутники должны выводиться в позиции геостационарной орбиты, скоординированные для работы российской системы подвижной спутниковой связи "Марафон" (160⁰ з.д., 13.5⁰ з.д., 40⁰ в.д., 90.5⁰ в.д., 145.5⁰ в.д.), а их запуск осуществлен ракетами-носителями легкого класса типа «Стрела» (НПО Машиностроения) или «Рокот» (ГНПЦ им. Хруничева).

Предварительные расчеты показывают, что для данного варианта общая стоимость спутниковой подсистемы составит около 130 млн. долларов США. При этом зона обслуживания системы обеспечит обслуживание абонентов практически на всей территории Земли (за исключением широт выше 65-70 град), а Центры управления и береговые станции будут полностью размещены на территории России. Подсистему обработки и анализа мониторинговой информации, поступающей с судов, предполагается реализовать в виде трехуровневой структуры:

- на *уровне отдельных систем* создаются диспетчерские центры и центры первичной обработки информации, которые будут решать задачи по сбору информации непосредственно от датчиковых систем, анализу и первичной обработке информации, передаче ее в региональные и отраслевые Центры;
- на *региональном уровне* создаются региональные информационно-аналитические центры, которые будут решать задачи сбора информации от отдельных групп датчиковых систем, тематической обработки и экспертной оценки ситуаций на региональном (отраслевом) уровне, формирования обобщенных показателей и представления информации на федеральный уровень;
- на *федеральном уровне* необходимо создание информационно-аналитического центра, который будет осуществлять сбор данных от региональных (отраслевых) Центров и особо важных групп датчиков; формирование макропоказателей состояния объектов и ресурсов для координации, согласования и контроля исполнения программ, проектов, планов; обеспечение информационной поддержки принимаемых решений; экспертные оценки состояния объектов контроля.

Для обеспечения пользователей системы заявленными видами услуг, выполнения жестких требований к вероятностно-временным характеристикам обмена данными и сокращения затрат на ее развертывание и эксплуатацию, предлагается организовать следующие каналы:

А) в направлении судно - берег:

- запросный канал (ЗК);

- информационный канал передачи рапортов и технических сообщений (канал регламентированных сообщений - КРС);
- информационный канал передачи данных, суточных донесений и снимков (канал нерегламентированных сообщений - КНС);
- информационный канал передачи телефонных сообщений.

Б) в направлении берег-судно:

- общий канал сигнализации (ОКС);
- канал информационной службы (КИС);
- информационный канал передачи данных (КПД);
- информационный канал передачи телефонных сообщений.

Запросный канал судно-берег организуется по методу TDMA на основе случайного доступа в режиме пакетной передачи по протоколу S-ALOHA. Канал обеспечивает передачу запросов следующих видов:

- на выделение виртуальных каналов передачи данных с установлением соединения с оконечным пользователем наземной сети;
- на предоставление услуг информационной службы;
- на проведение верификационных испытаний;
- на выделение пары частот для организации цифрового телефонного канала.

Кроме того, в канале передаются сигналы бедствия судов. Их передача осуществляется с высшим приоритетом, для чего:

- сигнал передается последовательно во всех временных окнах до получения подтверждения его приема от береговой станции;
- обеспечивается повышение помехоустойчивости передачи сигнала за счет дополнительного избыточного кодирования сообщения.

При этом обеспечивается вероятность успешной передачи сигнала бедствия не хуже 0.999 за время не более 20 с. Скорость передачи информации в канале 600 бит/с.

Информационный канал передачи рапортов и технических сообщений в направлении судно-берег организуется по методу TDMA. При этом временная ось разделяется на следующие временные интервалы:

- кадры длительностью 0,86 (0,43) секунд - для передачи пакета данных объемом 512 (256) бит;
- циклы длительностью 5 минут - включают 300 (600) кадров;
- суперциклы длительностью 30 минут - включают 6 последовательных циклов.

Скорость передачи информации в каждом канале регламентированных сообщений составляет 600 бит/с.

Информационный канал передачи данных в направлении судно-берег организуется по методу TDMA. Временные интервалы закрепляются за судовыми станциями на время передачи сообщения. Назначение канала (частотно-временных позиций) осуществляется координирующей береговой станцией. Формат передач в канале аналогичен КРС и ЗК.

Общий канал сигнализации, канал информационной службы и информационные каналы передачи данных в направлении берег-судно организуется на отдельной частоте в едином цифровом потоке на скорости 4.8 кбит/с. Цикл передач, длительностью 5 минут, и суперцикл передач, длительностью 30 минут, формируется путем передачи опорных пакетов.

Информационные каналы передачи телефонных сообщений в направлении судно-берег и берег-судно организуются на отдельных несущих. При этом дуплексный канал включает пару частот (одну на передачу и одну на прием). Планируемая скорость передачи информации в каждом канале составляет 8 кбит/с.

Проведенные расчеты показывают, что при данной организации информационного обмена для обслуживания группировки в 3000 судов суммарная требуемая полоса частот не превысит 200 кГц.

В заключение отметим, что предлагаемые организационно-технические решения по построению спутниковой системы мониторинга морских судов отличаются своей экономичностью и возможностью развертывания уже в течение ближайших трех-четырёх лет. Ориентация на отечественные спутниковые технологии, достаточно простые технические решения при развертывании космического и наземного сегментов системы, отечественные аппаратно-программные средства обработки, хранения и представления информации дополнительно обеспечат высокую конфиденциальность и целостность информации, циркулирующей в системе.

Литература

1. Научно-технический отчет о НИР «Разработка системного проекта «Федеральной системы мониторинга объектов и природных ресурсов» в части, касающейся Государственного комитета российской Федерации по рыболовству» (заключительный, шифр «Контроль») М.: НТЦ «Навигатор-И». 2000 г. 168 с.
2. Научно-технический отчет о НИР «Разработка системного проекта спутниковой подсистемы сбора данных Федеральной системы мониторинга объектов в части отраслевой системы мониторинга Государственного комитета Российской Федерации по рыболовству» (шифр «Контроль-СК»). СПб.: ИКЦ «Северная Корона». 2000 г. 155 с.
3. Научно-технический отчет о НИР «Федеральная система мониторинга объектов и ресурсов Российской Федерации» (головная книга системного проекта). М.: ГНПЦ им. Хруничева. 2000 г. 45 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ДВУХКОНТУРНОЙ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ АНТЕНН ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ПРИЕМА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ И РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

В. Л. КАРЯКИН, В. В. КАРЯКИН

*Поволжская государственная академия телекоммуникаций и информатики
443010, г. Самара, ул. Л. Толстого, 23, кафедра ТВ и РВ. Тел. (8462) 368-552,
e-mail:karyakin@mail.psati.ru*

Abstract. The heightened requirements reduce in an exactitude of tracking behind satellites in systems of professional reception of the television and broadcasting programs to necessity of fixed tracking behind a level of an accepted signal and tuning of a take up antenna on his maximal.

It is possible to apply to a delivered task of tracking with the heightened requirements on an exactitude antenna positioner on the basis of a system of a phase synchronization.

The system of tracking behind synchronous satellites with a slant orbit is considered. The exactitude of tracking is ensured with a system of a phase synchronization, into which structure the device of electromechanical positioning by a satellite antenna goes into.

1. Введение

Прием телевизионных и радиовещательных программ с искусственных спутников Земли с повышенными требованиями по качеству принимаемого сигнала приводит к увеличению диаметра антенн. При этом неизбежно возникают задачи повышения скорости позиционирования и точности слежения за положением спутника с наклонной орбитой.

Для успешного решения этих задач можно применять антенные позиционеры на основе системы фазовой синхронизации [1,2].

2. Система позиционирования спутниковой антенны и слежения с повышенной точностью

В системах профессионального приема с повышенными требованиями к точности слежения, как правило, используется угломестно-азимутальные подвески спутниковых антенн. На рис.1 представлена функциональная схема устройства, предназначенного для позиционирования антенны по двум координатам и слежения за спутником. В рассматриваемой схеме используется принцип конического сканирования [3].

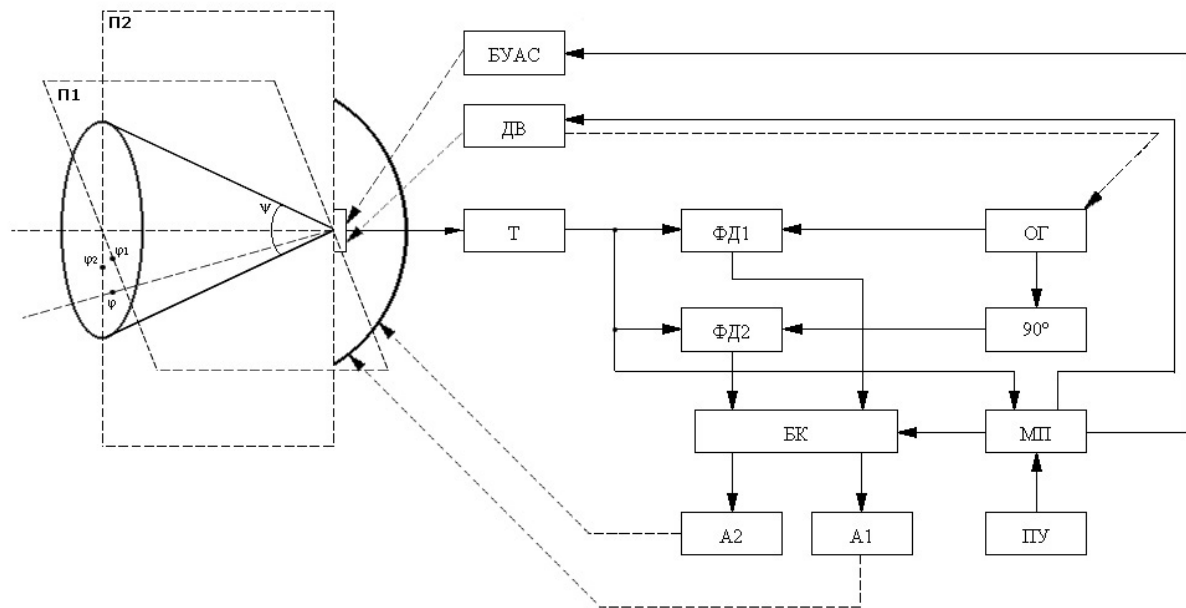


Рис.1. Функциональная схема системы позиционирования и слежения

Двигатель (ДВ) приводит во вращения с круговой частотой Ω облучатель антенны, обеспечивая тем самым сканирование диаграммы направленности антенны относительно собственной фокальной оси.

Обозначим угол между осью антенны и вектором направления на спутник через φ . Проведем через ось антенны две взаимно перпендикулярные плоскости П1 и П2. П1 – плоскость азимутальная, П2 – плоскость угла места. Тогда φ_1 и φ_2 – углы между осью антенны и проекциями вектора направления в плоскости П1 и П2, соответственно. Угол сканирования диаграммы направленности обозначим через ψ .

С выхода АГС тюнера (Т) сигнал поступает на первые входы фазовых детекторов (ФД1, ФД2). Первый фазовый детектор вырабатывает сигнал ошибки пропорциональный углу φ_1 .

На выходе второго фазового детектора сигнал ошибки пропорционален углу φ_2 .

Сигналы опорного генератора (ОГ) на вторых входах фазовых детекторов имеют частоту Ω и сдвинуты друг относительно друга на 90° .

Сигналы пропорциональные φ_1 и φ_2 управляют работой актюаторов А1 и А2, которые, в свою очередь, воздействуют на положение антенны в пространстве.

Блок коммутации (БК) позволяет реализовывать различные режимы антенны:

- режим предварительной установки, который может быть ручным с пульта управления (ПУ) или автоматическим с регистрацией спутников в базе данных микропроцессора (МП);

- режим позиционирования на выбранный спутник;
- режим слежения за выбранным спутником.

Точность слежения обеспечивается благодаря управляемому углу сканирования ψ . Технически изменение угла сканирования в различных режимах работы осуществляется в электромеханическом блоке управления амплитудой сканирования (БУАС).

Координация работы устройства осуществляется микропроцессором. При первом включении системы производится поиск существующих спутников и создание базы данных. При дальнейшей работе осуществляется выбор спутника, ориентация антенны на заданную позицию, точная настройка и слежение. Точность работы устройства обеспечивается двухконтурной системой фазовой синхронизации (СФС).

3. Математическая модель двухконтурной системы фазовой синхронизации

Двухконтурная система фазовой синхронизации рассматриваемого устройства представлена на рис.2.

Сигнал подстраиваемого генератора (ПГ) с частотой $\Omega_{ПГ}$ сравнивается в ФД1 и ФД2 с опорными сигналами от ОГ, которые отличаются по фазе на 90^0 и имеют частоту $\Omega_{ОГ}$.

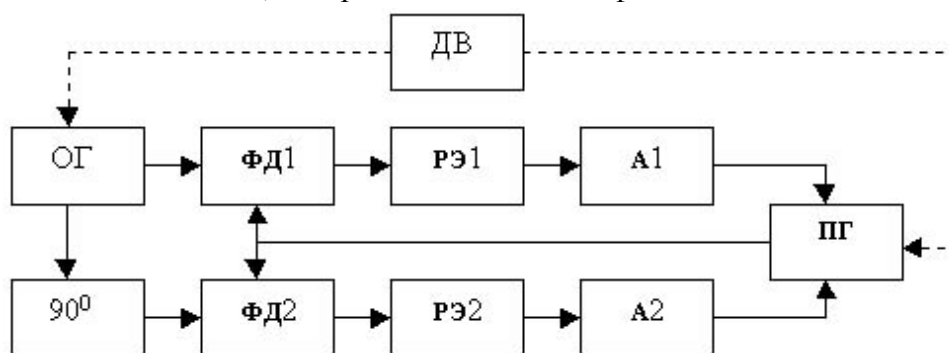


Рис.2. Структурная схема двухконтурной СФС

Благодаря механической связи двигателя с ОГ и ПГ, частоты генераторов равны $\Omega_{ПГ} = \Omega_{ОГ} = \Omega$. Управление фазой ПГ осуществляется перемещением антенны с помощью актюаторов А1 и А2.

Направление движения актюаторов задается релейными элементами РЭ1 и РЭ2, имеющими характеристики следующего вида:

$$U_{РЭ1} = \text{SIGN } U_{ФД1}, \quad (1)$$

$$U_{РЭ2} = \text{SIGN } U_{ФД2} \quad (2)$$

Здесь

$$U_{ФД1} = U_{\text{МАКС}} \cdot \text{SIN } \varphi_1, \quad (3)$$

$$U = U \cdot \text{SIN } \varphi_2, \quad (4)$$

где φ_1 и φ_2 – ошибки регулирования СФС.

Учитывая, что актюаторы А1 и А2 представляют собой интеграторы, запишем уравнения, устанавливающие связь между напряжениями на выходах релейных элементов и ошибками регулирования:

$$\varphi_1 = k_1 \int_0^t U_{РЭ1} dt, \quad (5)$$

$$\varphi_2 = k_2 \int_0^t U_{PЭ2} dt \quad (6)$$

Здесь k_1, k_2 - коэффициенты, определяющие скорость изменения φ_1 и φ_2 на выходе интегрирующих звеньев.

Уравнения (1)-(6) можно записать в следующем виде:

$$d\varphi_1/dt + k_1 \text{SIGN}[\text{SIN } \varphi_1] = 0, \quad (7)$$

$$d\varphi_2/dt + k_2 \text{SIGN}[\text{SIN } \varphi_2] = 0 \quad (8)$$

Система уравнений (7,8) описывает динамику двухконтурной СФС и позволяет составить ее математическую модель (рис.3).

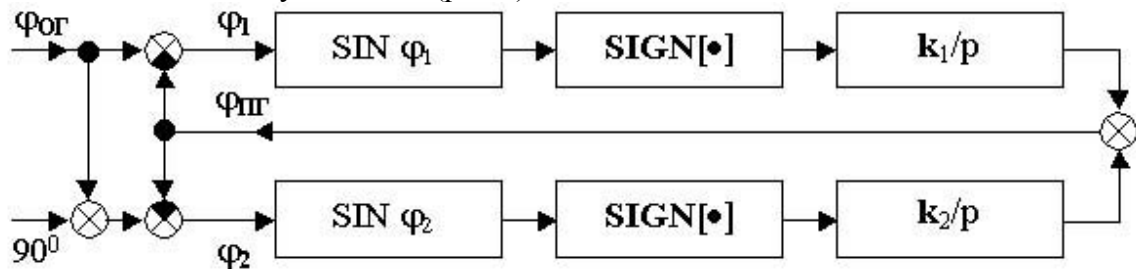


Рис. 3. Математическая модель СФС

Компьютерное моделирование рассматриваемой двухконтурной системы фазовой синхронизации позволило провести анализ ее динамических свойств в переходном и установившемся режимах работы.

В докладе даны рекомендации по выбору параметров системы для обеспечения требуемой скорости автоматического позиционирования при высокой точности слежения. Приводится сравнительный анализ динамики рассматриваемой системы с профессиональными следящими системами типа “экстремальный автомат”.

Литература

1. Karyakin V.L., Karyakin V.V. System of Tracking Satellites with a Slant Orbit for Professional Reception the Television and Broadcasting Programs.// Proceedings, the 4th International Conference on Satellite Communications, volume 2, Moscow, 2000, p.38-41.
2. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации. / В.В.Шахгильдян, А.А.Ляховкин, В.Л.Карякин и др.; Под. Ред. В.В. Шахгильдяна. – М.: Радио и связь, 1989. – 320 с.
3. Первачев С.В. Радиоавтоматика.-М.: Радио и связь, 1982. – 296с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ ВЕДОМСТВЕННЫХ СИСТЕМ СВЯЗИ ПУТЕМ ВНЕДРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Ю. БАБКОВ¹, М. А. ВОЗНЮК², М. М. ШИПИЛОВ³

¹Санкт-Петербургский Университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича,
²Завод "Волна", ³ЗАО "Сигнал"

Abstract The article presents the major positions of the program for the professional telecommunication systems modernization using advanced information technologies

Уровень внедрения новых технологий в стране зависит, в первую очередь, от интеллектуального потенциала общества и освоения отечественной промышленностью передовых технологий, производства элементной базы и комплекса автоматизированных средств

связи и управления. В мире все более полно проявляются тенденции широкого использования современных достижений науки в процесс модернизации существующих систем связи, придавая им новые качества и продлевая цикл эксплуатации с достижением высокого экономического эффекта. На этом фоне состояние систем связи различных ведомств Российской Федерации можно расценивать как неудовлетворительное.

В связи с этим требуется разработка программы модернизации, задачами которой являются:

Анализ, разработка и тиражирование новых технологий автоматизированного управления и цифровой обработки процессов информационного обмена, интеграция их с традиционными средствами и процессами обеспечения связи.

Интеграция ведомственных систем связи с другими системами и сетями региона путем внедрения современных технологий сопряжения (шлюзования) сетей связи.

Увеличение цикла работоспособности существующих средств связи за счет внедрения современных технологий.

Разработка новых технологий диагностики и ремонта техники связи.

Создание стендов модернизируемой техники связи по исследованию основных характеристик.

Система программных мероприятий по модернизации существующих систем связи различных ведомств включает в себя ряд мероприятий, к которым в первую очередь относится:

1. Методика обоснования целесообразности модернизации техники связи при программном планировании

Применение методики в процессе программного планирования предполагает повышение обоснованности и эффективности плановых решений по вопросам создания и модернизации техники связи.

Данная методика направлена на решение следующих задач:

- обоснования перечня образцов техники связи предлагаемых к включению в Программу оснащения средствами связи (ПОСС);
- обоснования перечня средств, подлежащих модернизации или разработке, пригодных для включения в раздел ПОСС по средствам связи общего назначения;
- обоснование целесообразности модернизации образцов техники связи при составлении пятилетних и годовых планов НИР и ОКР;
- обоснования возможности создания средств связи двойного назначения.

Процесс обоснования целесообразности модернизации техники связи при программном планировании представляет собой сложную технико-экономическую задачу, решение которой базируется на комплексном использовании методов оптимизации, математической статистики и экономического обоснования.

Решение задачи связано со сбором и анализом большого количества информации о разработке, производстве и эксплуатации, а также с определением затрат по стадиям жизненного цикла техники связи.

В целях создания единого подхода к обоснованию целесообразности модернизации техники связи при программном планировании, увязывающего исследования по анализу состава функций изделия-аналога с другими видами исследований по определению затрат, оценки возможности технической реализации улучшаемых параметров изделия, оптимизации стоимости модернизации, предлагается обоснование целесообразности модернизации техники связи осуществлять в последовательности, изложенной в [1].

Декомпозиция задачи обоснования целесообразности модернизации и содержания частных задач представлена на рис.1.

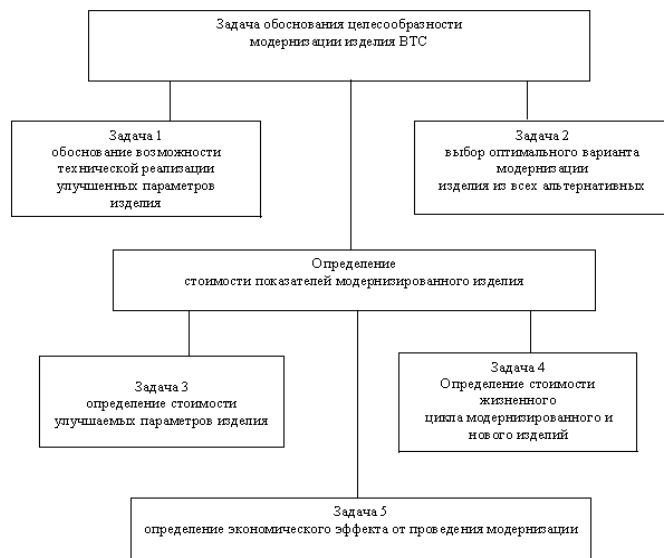


Рис. 1. Декомпозиция задачи обоснования целесообразности модернизации изделия ВТС

Таким образом, обоснование целесообразности модернизации изделия техники связи и включения его в основные документы программного планирования является комплексной научно-технической задачей.

2. Создание координационных центров ремонта ведомственной техники связи региона

Необходимость создания координационных центров ремонта ведомственной техники связи (КЦ), финансируемых в минимальной степени за счет бюджетных средств, а в основном за счет внебюджетного финансирования и хозрасчетных составляющих, определяется малочисленностью органов управления ремонтом управлений связи ведомств и их значитель-

ной перегрузкой, снижающей качество функционирования системы ремонта.

Основными целями создания таких КЦ должно быть повышение:

- управляемости процессами технического обслуживания и ремонта парка техники связи всех поколений выпуска формирований региона;
- рациональности использования финансовых средств бюджетного и внебюджетного финансирования;
- контролеспособности результатов выполнения задач технического обслуживания и ремонта парка техники связи и автоматизации, расходования финансовых средств в регионе со стороны вышестоящих органов управления (центра);
- своевременности перехода с минимальной перестройкой системы технического обслуживания и ремонта техники связи региона с мирного времени на особый период;
- комплексности воздействия системы ремонта на все остальные части техники связи;
- обеспеченности обслуживания и ремонта техники связи и автоматизации на территории данного региона различных ведомств при их тесной кооперации и взаимодействии;
- оптимальности реанимации стационарной сети органов снабжения и ремонта техники связи регионов и их направленности на обеспечение формирований всех министерств и ведомств;
- возможности использования подготовленных специалистов по обслуживанию и ремонту техники связи;
- оперативности и экономической эффективности функционирования системы ремонта техники связи по показателю "эффект-стоимость" в различные периоды функционирования.

Указанные цели создания КЦ могут быть достигнуты при возложении на них следующих задач:

- создание баз данных о структуре и составе сил и средств ремонта техники связи и ее составных частей в регионе, их состоянии, производственных возможностях и путях использования;
- учет потребностей в выполнении задач ремонта техники связи и ее составных частей в ходе выполнения задач всех министерств и ведомств;

- организация заключения договоров, обоснование договорных цен при выполнении ремонта техники связи, ее составных частей, деталей со специфическими технологическими процессами;
- разработка и реализация планов развития инфраструктуры органов ремонта техники связи;
- организация региональных центров обучения и консультирования в вопросах технологии и экономики;
- планирование и комплексное решение проблем обеспечения процессов поддержания готовности техники связи ведомств в различных условиях;
- обеспечение межвидового взаимодействия;
- выработка предложений по созданию регионального резерва производственных мощностей;
- формирование региональных требований по обеспечению функционирования и готовности сети исполнительных органов в различных условиях;
- анализ производственно-хозяйственной деятельности органов ремонта техники связи и выработка рекомендаций по ее совершенствованию;
- представление в центральный орган управления различных ведомств сведений о потребностях в оказании помощи в вопросах ремонта техники связи, финансировании ремонтных работ и др.

В общих чертах КЦ представляется как координирующий и информационно-обеспечивающий центр, взаимодействующий с должностными лицами по ремонту техники связи министерств и ведомств региона, предприятиями промышленности и ремонтными предприятиями.

3. Создание электронных средств диагностики, контроля качества ремонта (модернизации) и хранения техники связи

Основой автоматизированного электронного контроля (диагностики) качественных показателей основных параметров изделия, а также автоматизированного поиска неисправностей являются специальные ЭВМ или ПЭВМ дооборудованные соответствующими интерфейсами и программным обеспечением. Создание и развитие интерфейсов и программного обеспечения представляет технически наиболее сложную и дорогостоящую задачу. Но именно она позволяет системам технического обеспечения (ТО) коренным образом модернизировать свой технологический базис.

Организация и тиражирование электронных средств диагностики, ремонта и обучения предполагает:

- создание программных сред для разработки электронных методических материалов в области диагностики, поиска неисправностей, тестирование на соответствие качества, обучение персонала по пользованию электронной методикой;
- создание информационно-инструментальных сред для качественного тестирования и измерения основных параметров и их автоматизированная классификация на соответствие нормам технических условий (паспорта) на изделие;
- создание инструментальных средств (стендов) для разработки виртуальных лабораторных имитаторов позволяющих системно оценивать комплексы, системы и сети, а также организовывать учебный практикум обслуживающего персонала;
- создание электронных библиотек – как средства учета и продвижения изделия, накопления и распространения информационных, методических и иных ресурсов. При наличии сетевой инфраструктуры данные ресурсы потенциально доступны любому пользователю ведомственной закрытой сети;
- создание медиатек – Инструментальный программно-технический комплекс должен сопровождаться прикладным программно-методическим обеспечением.

- разработка и тиражирование электронных средств технического обеспечения. Для организации разработки производства и тиражирования программно-методических и учебно-технических диагностических комплексов требует создания системы сертификации, тестирования, экспертизы, электронных средств и лабораторного оборудования.

Программное моделирование работы средств связи с использованием вычислительной техники является эффективным инструментом на стадиях НИОКР, связанных с выбором радиотехнологии, отработкой основных функциональных узлов системы. Легкость программного изменения условий эксперимента позволяет осуществить большое количество многоальтернативных испытаний, произвести прогнозирование основных характеристик будущего изделия.

Совместное проведение указанных типов испытательных процедур позволяет повысить эффективность, уменьшить общие материальные затраты на проведение НИОКР, обеспечить соблюдение требований к техническим, эксплуатационным и надежности характеристикам средств радиосвязи.

Стенд по диагностике и исследованию техники связи позволяет оценить:

- временные параметры исследований, разработки и поставки средств связи;
 - объем финансирования и их влияние на сроки разработки и поставки средств связи;
- Стенд позволит обрабатывать программы обучения и переобучения личного состава, проводить занятия со слушателями стационарных факультетов и курсов переподготовки.

Основными задачами стенда является создание эффективной среды передачи информации, поддержание архитектуры сети с полным использованием преимуществ, предоставляемых коммерческим рынком и снижение риска в процессе модернизации системы в целом.

Стенд должен обеспечивать решение следующих частных задач:

- имитацию среды передачи информации в условиях ведения связи и определение способов уменьшения рисков при решении технических вопросов и вопросов эксплуатации сети.
- интеграцию сетей различной ведомственной принадлежности и широкое применение коммерческих технологий;
- оценку различных технологий, расширяющих основные возможности системы связи;
- разработку требований к элементам посредством проведения экспериментальных исследований.

Основными элементами стенда должны быть программно-аппаратная платформа, обеспечивающая его функционирование и имитацию его каналов с помехами, оборудование межсетевое шлюза, маршрутизация и коммутация каналов и пакетов, которое взаимодействует с фрагментами сети радиосвязи, информационных сетей, сетей спутниковой связи и удаленными абонентами.

Литература

1. Вознюк М.А., Шипилов М.М. Модернизация ведомственных систем связи путем внедрения современных технологий // Конфликтно-устойчивые РЭС.- 2001 - №4
2. Бабкин А.В. Концепция стратегического менеджмента и оптимизации процесса перевооружения СС на ее основе // Труды академии. НТС ВАС. – 1996. - №59.-С.9 –12
3. Бабкин А.В., Куприянов В.В. Методика военно-экономического обоснования решений Заказчика по созданию и развитию систем связи при программном планировании // Сб. науч. трудов ВУС «Система связи и АСУ ВС РФ: экономические проблемы развития в современных условиях». – 1999. - № 1. – С.144 – 147

УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СИСТЕМЫ СВЯЗИ В СТРУКТУРЕ ЭФФЕКТИВНОГО МЕНЕДЖМЕНТА ЗАКАЗЧИКА

А. В. БАБКИН¹, М. М. ШИПИЛОВ²

¹Военный университет связи, ²ЗАО "Сигнал"

Abstract The bases of establishment and development control of radio-electronic means system by use of the economic approach based on customer effective management concept are considered; the formalised target setting of an equipment variant substantiation of a radio-electronic means system by new techniques is given.

Современные экономические условия существенно сказались на процессе создания и развития комплексов, средств связи и, соответственно, деятельности государственного заказчика систем связи специального назначения. Например, анализ практической деятельности заказчика показывает, что в последние годы планируемые в бюджете ассигнования составляют 5-30 % от требуемых на переоснащение систем в соответствии с современными взглядами на их развитие. В дополнение к этому реально выделяемые ассигнования составляют меньшую величину от запланированных в государственном бюджете. Такое положение и ряд других факторов привели к тому, что в настоящее время годовой объем поставки техники зачастую исчисляется единицами и десятками образцов. Это обуславливает время переоснащения системы связи новой техникой десятки лет, увеличение продолжительности жизненного цикла техники, повышение ее уровня морального старения. Степень оснащения систем постепенно снижается, а доля современной техники при этом составляет 10-12 % [1-4 и др.].

Управление развитием систем связи в соответствии с применяемым на практике программно-целевым подходом в конечном итоге конкретизируется в виде целевых программ. Данные программы обосновываются и формируются органами государственного заказчика, обеспечивая тем самым целенаправленное развитие систем, комплексов и средств связи. Изменение экономических условий привели к тому, что заказчик средств и комплексов связи, в отличие от плановой экономики, является одним из субъектов рынка и в большей степени вынужден выступать в роли субъекта, оптимизирующего свои стратегии, ресурсы и рыночное поведение.

В современных условиях для государственного заказчика методологическим направлением его деятельности является переход от концепции максимизации результата (в отдельных случаях – “достичь любой ценой”) к концепции рационального, целесообразного поведения рыночного субъекта и максимизации экономической эффективности. Его поведение обуславливается активным внедрением маркетинговой концепции управления и конкурсного механизма размещения заказов [5, 6], развитием инновационных и инвестиционных процессов, повышением степени системно-экономического обоснования принимаемых решений [7].

Все это обуславливает необходимость адаптации системы управления созданием и развитием систем связи к современным условиям функционирования экономики. Однако важнейшей проблемой в настоящее время является продолжающееся существование противоречия, обусловленного несоответствием структуры, процесса, методов, теоретического и методического обеспечения функционирования существующей системы управления государственными заказами по созданию средств связи современным экономическим условиям и задачам.

С этой целью в докладе рассмотрены подход и обобщенная процедура решения задачи управления созданием и развитием системы связи с использованием теории экономического анализа, которые отражают концепцию эффективного менеджмента государственного заказчика систем, комплексов и средств связи. Для обеспечения полноты и одно-

значности понимания излагаемого материала представляется уместным дать некоторые определения.

Понятия “создание” и “развитие” отражают два основных подхода к оснащению (переоснащению) системы связи новой техникой. Эти подходы и соответствующие им варианты оснащения (переоснащения) системы связи техникой отражают результаты проведенных исследований в области теории и практики развития систем, комплексов, средств связи [2,3 и др.]. Процесс *создания системы* включает исследования и ее разработку, а также разработку, производство, закупку, поставку средств связи и единовременную замену существовавшей в системе техники новой. *Развитие системы* предполагает учет аналогичных процессов, но эволюционную замену техники в системе. Под *управлением созданием и развитием системы* будем понимать процесс выработки управляющего воздействия по формированию программы развития, обеспечивающего максимальный эффект от применения средств (комплексов) связи, достигаемый на множестве ресурсных ограничений.

Общую математическую постановку задачи управления созданием и развитием комплексов и средств связи можно представить в терминах оптимального управления в следующем виде.

Необходимо определить вектор-функцию фазовых переменных $x(t) \in R$ и управлений $\bar{U}(t) \in R$ при $t \in [t_0, T]$, доставляющих максимум функционалу $\Phi = \Phi(\bar{X}, \bar{U}, t)$, при дифференциальных связях $\dot{\bar{X}}(t) = f(\bar{X}, \bar{U}, t)$, ограниченных вдоль траектории $(\bar{X}, \bar{U}, t) \in L$ и краевых условиях $(X, t_0) \in G_0, (X, T) \in G_T$. В контуре реализации принятых решений производится конкретизация вектора $U(t)$.

В настоящее время одним из путей устранения возникших проблем и решения задачи совершенствования управления созданием и развитием системы связи является внедрение в деятельность заказчика концепции эффективного менеджмента и методологии управления государственным оборонным заказом как нового концептуального подхода к управлению в системе создания техники [5, 6]. При этом сложное и многостороннее понятие эффективного менеджмента рассматривается автором как: определенный вид деятельности; научная дисциплина (область научных знаний); концепция управления на макроуровне (заказчик) и микроуровне (предприятия и др.); комплексная долгосрочная программа действий. В общем виде сущность эффективного менеджмента заключается в достижении в рамках определенных граничных условий наиболее эффективных результатов.

Современный менеджмент государственного Заказчика должен в первую очередь опираться на стратегическое, ситуационное, инновационное управление и маркетинговую концепцию управления. Проведенные исследования [5,6 и др.] показывают, что основными направлениями деятельности и управляющих воздействий государственного заказчика техники при реализации концепции эффективного менеджмента являются: стратегический менеджмент и маркетинг; управление на стадиях и в целом жизненным циклом средств связи; управление конкурентоспособностью; управление маркетингом в системе заказов; управление рисками и реализуемостью программ развития.

Научной основой эффективного менеджмента и, в целом, деятельности заказчика является экономический анализ создания и развития систем и средств связи. Под экономическим анализом в общем виде понимается совокупность методов выявления оптимальных (рациональных) решений, базирующихся на использовании количественных оценок достигаемого эффекта и необходимых затрат. При практической реализации теории экономического анализа используются методы и подходы теории системного анализа, теории принятия решений, теории эффективности и др.

Сформулированная задача управления развитием системы связи в силу ее сложности предполагает декомпозицию на ряд подзадач и решается итерационно методами,

$a_i \succ (\prec, \approx) a_j \wedge K = F[P, \alpha(P)]$, основанными на концепции инвариантного вложения [8].
Обобщенная процедура решения задачи включает следующие основные частные задачи [5].

1. Анализ и обоснование варианта создания и развития системы связи.
2. Обоснование варианта оснащения системы связи новой техникой.
3. Оценка реализуемости варианта создания и развития системы связи.
4. Управление жизненным циклом средств и комплексов связи и его отдельными стадиями.

5. Выбор предприятия для включения в программу развития на основе оценки его конкурентных позиций.

6. Прогнозирование затрат, оценка возможностей научной и производственной базы промышленности, формирование ценовой политики заказчика, оценка уровня морального старения.

Рассмотрим основные задачи.

Обоснование варианта создания и развития системы связи осуществляется путем решения задачи выбора лучшего варианта по сформированному критерию из определенного числа альтернатив. Общая постановка задачи может быть сформулирована следующим образом.

Определить в соответствии множеству альтернативных вариантов развития системы ($A = \{a_i\}$) подмножество множества действительных чисел (K) - обобщенных показателей выбора, таких, что они, являясь функциями от совокупности существенных свойств альтернатив (P) и степени их влияния $\alpha(P)$ на предпочтительность выбора в пользу той или иной альтернативы (в зависимости от системы предпочтений ЛПП) позволили бы установить на множестве альтернатив отношения предпочтения (доминирования) или безразличия (эквивалентности):

$$A \rightarrow K \subset R: K_i(a_i) > (<, =) K_j(a_j) \Rightarrow i = \overline{1, n}; j = \overline{1, n}; i \neq j; P = \{P_r\}; \\ \alpha(P) = \{\alpha_r(P_r)\}; r = \overline{1, m},$$

где n - количество альтернативных вариантов создания и развития системы связи; m - количество существенных свойств системы связи.

В случае если существует отличная от других величина обобщенного показателя K_i , то выбор варианта развития системы связи производится в соответствии с критерием (решающим правилом):

$$RP: \exists K_i \neq K_j \Rightarrow a^* = \left\{ a_i \mid \underset{a_i \in A}{ext} K_i(a_i) \right\}.$$

Выбор лучшего варианта создания и развития системы связи осуществляется на основе сформированного перечня существенных свойств системы, которые разбиты на три основные группы: технические; организационно-технические и экономические. При этом свойства системы могут быть оценены как по определенным количественным показателям, так и качественным характеристикам.

Решение задачи обоснования наиболее целесообразного варианта оснащения системы техникой связи осуществляется в несколько этапов: а) формирование каталогов средств, комплексов связи и предприятий промышленности на основе маркетинговых исследований заказчика; б) формирование альтернативных вариантов оснащения системы связи и вариантов размещения заказа на предприятиях-исполнителях заказа; в) экономический анализ и обоснование целесообразного варианта оснащения; г) оценка конкурентных позиций и выбор лучшего предприятия; д) формирование программы раз-

вития и государственного заказа комплексов и средств связи. Данная задача является многоаспектной и при ее решении используется комплекс экономико-математических моделей [7].

Перечисленные выше задачи решаются с использованием методов теории экономического анализа и отражают современные аспекты функционирования экономики и практической деятельности заказчика систем связи специального назначения. В результате их решения осуществляется формирование научно обоснованной программы развития и государственного заказа средств связи.

Для решения рассмотренных задач разработан комплекс различных моделей, который в совокупности с предлагаемыми процедурами, методиками и т.д. является основой системы поддержки принимаемых решений (СППР) заказчика по управлению созданием и развитием систем, комплексов, средств связи [9]. Проведенные исследования показывают, что применение данного подхода и СППР позволяют повысить качество оснащения и эффективность функционирования систем связи на 6-8 % при фиксированных ассигнованиях или обеспечить экономию денежных средств заказчика на величину 10-12 % при обратной постановке задачи.

Разработанный комплекс моделей и система поддержки принимаемых решений прошли практическую апробацию и реализованы в структуре заказчика телекоммуникационных систем, комплексов и средств специального назначения.

Литература

1. Сергеев И.С. Основы военно-технической политики России в начале XXI века//Красная звезда, 11.1999г.
2. Бабкин А.В., Геков В.В. Военно-экономические проблемы строительства и перевооружения войск связи России и пути их решения // Труды академии. НТС ВАС. – 1998. - №59.-С.5-8.
3. Шипилов М.М., Кириллов А.В., Сысоев Н.Г. Основы экономики и организации научных исследований. – СПб.: ВАС, 1996.- 134с.
4. Остапенко С.Н. Методический подход к обоснованию развития РЭС на основе управления параметрами жизненных циклов проектов. – Радиотехника (Журнал в журнале), 1997, №5.
5. Бабкин А.В. Методология управления государственным оборонным заказом техники и системный анализ // Сб. науч. трудов “Экономическая кибернетика: системный анализ в экономике и управлении”. Вып.2. – СПб.: СПб ГУЭиФ, 2000. – С.116-118.
6. Бабкин А.В. Концепция стратегического менеджмента и оптимизации процесса перевооружения СС на ее основе // Труды академии. НТС ВАС. – 1996. - №59.-С.9 -12.
7. Бабкин А.В. Система поддержки принимаемых решений по управлению Гос. оборонным заказом // Труды II Всероссийской НП конференции “Национальная экономика и Вооруженные Силы: проблемы и перспективы”. – С-Пб.: Изд-во СПбГТУ, 2000 – с.111-112.
8. Ли Э.Б., Маркус Л. Основы теории оптимального управления: Пер. с англ. – М.: Наука, 1972

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СОТОВЫХ СЕТЕЙ ПО КРИТЕРИЯМ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТУРНОГО И ЧАСТОТНОГО РЕСУРСОВ

В. Ю. БАБКОВ, А. В. РУФОВА

*Санкт-Петербургский Государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича*

Abstract The problem of the quality parameters balancing on the first stage of mobile cellular network designing is investigated. The technique for the first approximation of the mobile cellular networks designing is proposed. The technique ensures both increasing of the frequency resource using efficiency and minimization of financial costs while network deployment.

При решении задачи синтеза сотовой сети необходимо обеспечить оптимальный баланс системы показателей качества, характеризующих сеть. Формирование вектора ос-

новых показателей сети, в том числе стоимости базового оборудования и требуемого частотного ресурса, осуществляется в процессе построения начального приближения сотовой сети [1].

В процессе оптимизации сети уточняются параметры архитектуры сети, прежде всего число базовых станций (БС) и число секторов БС сети

$$N_{\text{БС}} = \frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{соты}}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{общ}}$ – площадь территории на которой разворачивается сеть связи [км²], $S_{\text{соты}}$ – площадь соты [км²],

$$N_c = N_{\text{БС}} \cdot M, \quad (2)$$

где M – число секторов в соте.

Известные методики построения начального приближения предполагают, что кластер сети задан или выбран из рекомендованных [1]. Тем самым поиск баланса показателей сети между стоимостью базового оборудования и потребным частотным ресурсом ограничен типом кластера, хотя и не исключается возможность нахождения такого кластера, в пределах которого реализуем оптимальный баланс показателей сети.

Для определения условий баланса системы показателей качества сети целесообразно воспользоваться понятием удельной нагрузки на единицу площади обслуживания [2].

$$v_a = \frac{N_a}{S_{\text{общ}}}, \quad (3)$$

где N_a - число абонентов, обслуживаемое сетью,

Используем это выражение для определения числа абонентов, приходящихся на кластер сети

$$N_{a \text{ кл}} = v_a \cdot S_{\text{кл}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{кл}} = C \cdot S_{\text{соты}}$ - площадь кластера [км²], C - размерность кластера.

Число абонентов, приходящихся на кластер сети можно определить и через допустимую телефонную нагрузку и активность абонентов в час наибольшей нагрузки (ЧНН) [2]:

$$N_{a \text{ кл}} = C \cdot M \cdot \text{int}\left(\frac{A_c}{\beta}\right), \quad (5)$$

где β - активность одного абонента в ЧНН [Эрланг], A_c - допустимая телефонная нагрузка в секторе одной соты [Эрланг].

Нагрузка на сектор сети, поскольку сотовые системы связи являются системами с отказами в обслуживании, рассчитывается в соответствии с формулой [3]

$$A_c = \begin{cases} n_c \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(P_{bl} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot n_c}{2}} \right)^{\frac{1}{n_c}}} \right] & \text{при } P_{bl} \leq \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_c}} \\ n_c + \sqrt{\left(2 \cdot n_c \cdot \ln \left(P_{bl} \cdot \sqrt{\frac{\pi \cdot n_c}{2}} \right) + \frac{\pi}{2} \right)} - \sqrt{\frac{\pi}{2}} & \text{при } P_{bl} > \sqrt{\frac{2}{\pi \cdot n_c}} \end{cases}, \quad (6)$$

где n_c – число каналов трафика в секторе, P_{bl} – вероятность блокировки вызова.

Число частот в секторе связано с числом трафиковых каналов и каналов управления и сигнализации.

Для определения числа каналов трафика в секторе при заданном числе частотных каналов существует ряд рекомендаций [1].

Итак, в процессе синтеза сети, в отличие от известных подходов, необходимо найти такую сеть, в которой выполняются требования к качеству обслуживания абонентов, и обеспечивается необходимый баланс между стоимостью сети и используемым частотным ресурсом.

Для оценки частотного ресурса, задействованного сетью, воспользуемся коэффициентом использования частотного спектра [4]

$$\eta_c = \eta_M \cdot \eta_{МД} \quad [\text{канал/МГц/км}^2], \quad (7)$$

где $\eta_M = \frac{n_k \cdot M_t}{B \cdot S_{\text{класт}}} = \frac{M_t}{B_k \cdot S_{\text{класт}}}$ – эквивалентная спектральная эффективность по модуляции, n_k – число частотных каналов в кластере, M_t – число временных слотов в кадре (для GSM равно 8), B – общая полоса частот, используемая в кластере [МГц], B_k – ширина канала [МГц] (для GSM составляет 0,2), $\eta_{МД}$ – эффективность множественного доступа (для GSM составляет 0,7) /3/.

Причем, как нетрудно заметить, показатель (7) можно выразить через параметры кластера M и C , что говорит о наличии зависимости между размерностью кластера и спектральной эффективностью сети

$$\eta_c = \eta_{МД} \cdot \frac{M_t \cdot v_a}{B_k \cdot C \cdot M \cdot \text{int}\left(\frac{A_c}{\beta}\right)}. \quad (8)$$

Для оценки стоимости базового оборудования сети используем показатель [4]

$$K = N_c \cdot (K_{БС} + n_c \cdot K_{\text{пр/пер}}), \quad (9)$$

где $K_{БС}$ – стоимость одноканальной БС, $K_{\text{пр/пер}}$ – удельные затраты на один приемопередатчик БС (для стандарта GSM составляет примерно 4% от стоимости одноканальной БС).

Для удобства в дальнейших расчетах будем использовать относительную стоимость базового оборудования сети, которая находится, как отношение общей стоимости к стоимости одноканальной базовой станции

$$K' = N_c \cdot (1 + n_c \cdot 0,04), \quad (10)$$

Из формул (8), (10) видно, что стоимость сети не зависит от размерности кластера, а связана только с частотным ресурсом и общим количеством секторов БС в сети.

Таким образом, в процессе синтеза необходимо обеспечить баланс между показателями (8), (10).

Процедура построения начального приближения сотовой сети в данном случае проводится в следующей последовательности:

На основании исходных данных в соответствии с (2) находится минимально необходимое число секторов БС $N_{c \min}$ в сети, исходя из максимально-возможной дальности связи.

Определяется максимально-возможное количество абонентов в секторе БС $N_{ac \max}$ при полученной архитектуре сети

$$N_{ac \max} = \frac{N_a}{N_{c \min}}.$$

В зависимости от типа кластера и выделенного частотного ресурса определяется максимально-возможное число частотных каналов n_c , каналов трафика $n_{\text{траф}}$ и каналов управления $n_{\text{упр}}$ в секторе БС.

Вычисляется максимально-возможная нагрузка $A_{c \max}$, которую может обслужить сектор БС при заданном частотном (канальном) ресурсе (6).

Исходя из значения $A_{c \max}$ рассчитывается количество абонентов $N_{ac \text{ факт}}$, которое фактически может быть обслужено сектором БС при заданном частотном (канальном) ресурсе.

Определяются параметры η_c и \hat{K} по формулам (8), (10).

Найденное значение $N_{ac \text{ факт}}$ сравнивается с $N_{ac \max}$

Здесь может быть два варианта.

Первый вариант архитектуры сети, когда $N_{ac \text{ факт}} > N_{ac \max}$.

В этом случае можно сделать вывод, что абоненты сети могут быть обслужены сетью с минимальным числом секторов БС $N_{c \min}$, определяемым по формуле

$$N_{c \min} = \frac{S_{\text{общ}}}{S_{\text{соты}}(R_{0 \max})} \cdot M,$$

где $R_{0 \max}$ – максимальная дальность связи.

Очевидно, стоимость сети здесь минимизировать не удастся вследствие того, что сокращение числа секторов БС невозможно из-за ограничений по энергетике. Но в зависимости от конкретного числа абонентов, приходящихся на сектор, можно в той или иной степени осуществить оптимизацию используемого частотного ресурса.

Второй вариант архитектуры сети имеет место, когда $N_{ac \text{ факт}} < N_{ac \max}$

В этом случае сеть минимальной конфигурации не может обслужить реальную абонентскую нагрузку и необходимо увеличить число секторов сети до значения

$N_c = \frac{N_a}{N_{ac \text{ факт}}}$. Естественно, что это приводит к полному использованию всего частотного ресурса сети. Для формирования необходимой группы резервных частот потребуется прибегнуть к увеличению числа секторов сети, что позволит снизить абонентскую нагрузку на сектор и, соответственно, уменьшить число частот (радиоканалов) в секторе БС. Естественно, что задача перераспределения аппаратурного и частотного ресурсов является нелинейной.

Абонентская нагрузка на сектор определяет необходимое число каналов трафика и каналов управления и, соответственно число радиоканалов. Если появляется необ-

ходимость введения дополнительного радиоканала на сектор, то появление резервных каналов трафика можно использовать для экономии аппаратного ресурса. Поясним это обстоятельство на примере, пусть расчетная нагрузка на сектор составляет 3,7 Эрл (148 абонентов), и необходимо выделить 2 радиоканала, из которых 1 канал управления и сигнализации, и 15 трафиковых каналов. Фактически при данной нагрузке достаточно 8 трафиковых каналов, т.е. 7 каналов являются резервными. Если задействовать резервные каналы, то сектор сможет обслужить 417 абонентов, что соответствует нагрузке в 10,5 Эрланг. Это позволит увеличить площадь соты и, тем самым приводит к уменьшению числа секторов БС необходимых для нормального функционирования сети, т.е. архитектура сети в целом может быть минимизирована.

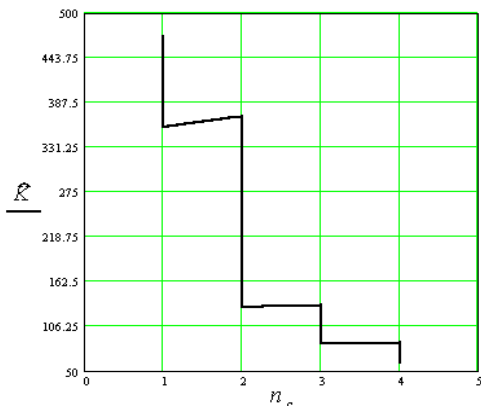


Рис. 1 Зависимость спектральной эффективности сети от числа абонентов в секторе БС

3 км.

Оценим поведение показателей качества при увеличении числа секторов БС в сети с кластером 3/9.

При фиксированной размерности кластера с ростом числа секторов в сети спектральная эффективность линейно возрастает. При этом уменьшается абонентская нагрузка на сектор. И одновременно с уменьшением числа абонентов в секторе БС происходит повышение спектральной эффективности (см. рис.1).

Это вполне логично, так как в процессе синтеза сети полагаем, что абоненты распределены по площади обслуживания сети равномерно, и соответственно при увеличении числа секторов происходит уменьшение числа абонентов в секторе и как следствие уменьшается требуемое число частотных каналов.

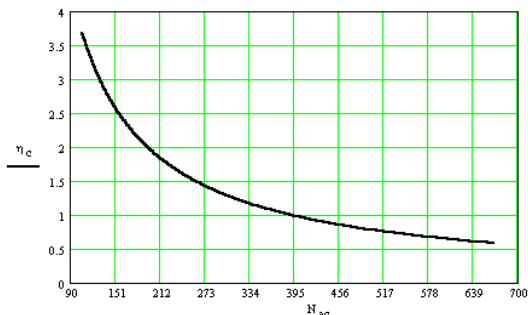


Рис. 2 Зависимость относительной стоимости сети от числа секторов БС сети

Подобным образом выглядит и зависимость спектральной эффективности от числа каналов в секторе БС.

Таким образом процедура построения начального приближения сети (п.п. 1 – 7) обеспечивает нахождение наилучшего решения с позиций повышения эффективности использования частотного ресурса и минимизации финансовых затрат на развертывание сети. Начальные условия безусловно определяющим образом влияют на итоговый результат.

В качестве примера рассмотрим решение задачи построения начального приближения на примере сети стандарта GSM со следующими параметрами: $N_a=50000$ аб; $S_{общ}=300$ км²; $\beta=0,025$ Эрл; $P_{б1} = 0,05$; выделенный частотный ресурс $N_K = 36$ радиоканалов; максимально-возможная дальность связи (энергетический расчет) $R_{0\ max} =$

Рассмотрим зависимость относительной стоимости сети от числа секторов БС в сети. График этой зависимости представлен на рис. 2, и позволяет сделать вывод о том, что скачкообразные изменения стоимости сети происходят при изменении числа частотных каналов в секторе.

Более явно эти изменения выражены на графике зависимости стоимости сети от числа частотных каналов в секторе БС (рис. 3).

Интерес представляет поведение показателей качества (8), (10) в момент изменения числа частотных каналов в секторе.

Анализ полученных данных показывает, что при увеличении либо уменьшении количества частотных каналов в секторе происходит небольшой скачок в стоимости сети.

Например, увеличивая число секторов в сети с 74 до 76 число радиоканалов на сектор уменьшается на единицу, все каналы используются для передачи трафика и стоимость сети соответственно падает с 85,84 до 84,0 у.е. (примерно на 10 %). Аналогичное поведение функции стоимости можно наблюдать при уменьшении числа радиоканалов, приходящихся на сектор.

Использование данной методики на этапе в процессе частотно-территориального планирования сетей подвижной радиосвязи обеспечивает повышение качества решений, принимаемых при выборе архитектуры сети, и дает возможность улучшения структурно-топологических и экономических характеристик сетей подвижной радиосвязи.

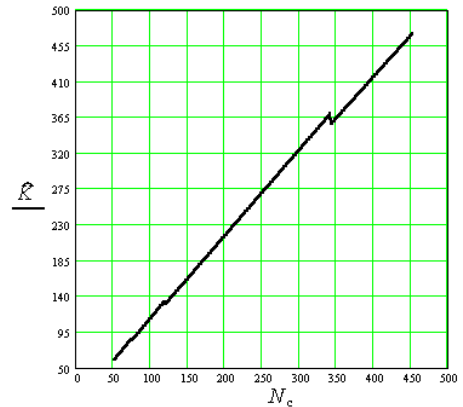


Рис. 3 Зависимость относительной стоимости сети от числа каналов в секторе БС

Литература

1. Бабков В.Ю., Вознюк М.А., Михайлов П.А. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / СПбГУТ. СПб., 2000. 196 с.
2. Гуляев А.В., Дудукин С.Н., Смирнов Н.В., Тихвинский В.О. Оценка эффективности использования спектра в сотовых сетях радиосвязи с частотно-временным разделением каналов // Мобильные системы. – 1999. – № 7.
3. Быховский М.А., Ноздрин В.В. Экономический анализ эффективности использования радиочастотного спектра в сетях подвижной связи // Мобильные системы. – 1998. – № 4.

СРЕДСТВА АВТОМОБИЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ В РОССИИ, КАК СОСТАВНАЯ ЧАСТЬ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

И. В. Снежко¹, М. М. Шипилов²

¹Военный университет связи, ²ЗАО "Сигнал"

Abstract The state of the art and prospects for the development of Car Navigation Systems in Russian Federation is examined. The guidelines to customers of such systems in Russia are formulated.

В конце 90-х годов в мире сложилась обстановка, благоприятствующая решению проблемы эффективного управления дорожным движением и повышения его безопасности, эффективного использования существующей дорожно-уличной сети и транспортных средств, снижения расхода топлива, и, как следствие, улучшения экологической обстановки. Это связано с эффективным применением высоких информационных и телекоммуникационных технологий, современных технических средств и соответствующих им технологий транспортной телематики, системное применение которых в мировой практике управления транспортом получило название Intelligent Transportation Systems (ITS) или Интеллектуальных Транспортных Систем (ИТС). Их важной составной частью являются автомобильные навигационные системы, называемые в англоязычной литературе Car Navigation System, либо Auto-Pilot System, либо Automatic Vehicle Locator.

Автомобильная навигационная система – это объединение навигационно-связного оборудования автомобиля, работающего либо автономно, либо в комплексе с оборудованием канала связи и обмена данными, а также с оборудованием диспетчерского центра.

Функции АНС

АНС выполняет четыре основные функции: указание текущего положения автомобиля на электронной карте, осуществление поиска оптимального маршрута движения, ведение водителя по маршруту с учетом особенностей дорожной сети и текущей обстановки, поиск объектов, представляющих интерес для водителя в базе данных по типу и названию.

Дополнительными функциями системы могут являться: отображение скорости движения, средней скорости на маршруте, пройденного пути и других параметров; просмотр и масштабирование электронной карты, поиск улиц, домов; документирование маршрутов движения; переключение типов применяемых электронных карт; сопряжение со средствами связи и автосигнализации и др.

Основные требования к АНС

К современным АНС предъявляются следующие основные требования: высокая точность позиционирования; высокая надежность работы; высокое быстродействие; низкая стоимость; низкое энергопотребление; электромагнитная совместимость с системой электрооборудования автомобиля; способность работать в сложных условиях (температурная стабильность параметров, влагостойкость); миниатюрные размеры; безопасность использования (не должна отвлекать водителя от управления автомобилем); способность интеграции с существующими телекоммуникационными сетями и дорожной инфраструктурой; возможность замены информационно-электронных блоков.

Классификация АНС

Сегодня АНС можно классифицировать следующим образом:

По способу ведения по маршруту [5]: с демонстрацией электронной карты; без демонстрации электронной карты.

По степени автономности: автономные АНС; АНС в составе систем слежения.

По методу позиционирования [2]: маркерное позиционирование; позиционирование по счислению пути автомобиля; позиционирование при помощи инерциальных методов; позиционирование при помощи радиопеленгационных методов, позиционирование автомобиля по сигналам радионавигационных систем; комбинированное позиционирование, при котором местоположение автомобиля определяется при помощи методов счисления и инерциальной навигации с коррекцией по сигналам радионавигационных систем.

В последние годы для определения местоположения автомобиля все более широкое распространение получают последние два метода, дополненные применением различных телекоммуникационных систем. При этом предпочтение отдается позиционированию на базе сигналов космических навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Возможность повышения точности определения координат связана с применением дифференциальных GPS (DGPS) [3]. В последние годы проводятся исследования по использованию для позиционирования автомобиля GPS и ГЛОНАСС совместно с наземными РНС (прежде всего ИФРНС ЛОРАН-С и "ЧАЙКА"), в составе интегрированного радионавигационного поля.

Структура АНС

Основными составными элементами современной автономной автомобильной навигационной системы должны являться: бортовой навигационный компьютер с CD-ROM (DVD) с комплектом цифровых карт (либо осуществляющий их получение через Интернет); дисплей [1]; блок управления; графический манипулятор; сенсорная панель управления; приемники навигационных систем с антеннами; гироскоп, датчики движения и пройденного расстояния; модем, средства связи и передачи данных с антеннами (например, аппаратура УКВ, сотовой, транкинговой, космической связи); резервный аккумулятор; видеокамеры и другие устройства, однако в каждом случае комплектование АНС зависит от условий радионавигационной обстановки, района эксплуатации системы (в том числе его электронного картографического обеспечения) и пожеланий пользователя.

Производители АНС

В последние годы российские компании активизировали работу в сфере автомобильной навигации (таблица 1). При этом они используют как импортные, так и собственные разработки, в том числе конверсионные. Сегодня на российском рынке представлены около 20 отечественных и импортных АНС, основанных на определениях места по сигналам GPS и ГЛОНАСС [2].

Российские фирмы, работающие в сфере автомобильной навигации

Таблица 1

Название фирмы	Некоторые разработки в сфере автомобильной навигации
1	2
ЗАО "АВТОР" (Тольятти)	Диспетчерские системы для междугородних перевозок на базе системы Inmarsat
Компания "Гео Спектрум" (Москва)	Универсальная система навигации, диспетчеризации и мониторинга TrackMaster
ЗАО "Комбеллга" (Москва)	Диспетчерские системы для междугородних перевозок на базе системы Euteltracs
МКБ "Компас-Р" (Москва)	Комплекующие для диспетчерских систем, навигационные приемники и блоки
Компания "Концепт Инжиниринг" (Москва)	Информационные автомобильные системы
ГП "Морсвязьспутник" (Москва)	Диспетчерские системы для междугородних перевозок на базе системы Inmarsat
"Навси" (СПб)	Автомобильный комплекс "НАВИГАТОР"
"Навигационные космические системы ИРБИС"	Системы слежения для городских перевозок (система "Вояджер")
"Навигация-сервис" (СПб)	Навигационные приемники и блоки
"НАВИКОМ" (Москва)	Диспетчерские системы для междугородних перевозок на базе системы Inmarsat
КБ "Навис" (Москва)	Навигационные приемники и блоки
"НавСтрим" (Москва)	Разработка систем индивидуальной транспортной навигации (АНС "Кассиопея")
АО "ПРИН" (Москва)	Диспетчерские системы для междугородних перевозок на базе системы Inmarsat
НИИ "Прогноз" (СПб)	Комплекующие и составляющие для диспетчерских систем (навигационно-связной контроллер для сотовой связи в стандарте GSM)
РНИИ КП (Москва)	Навигационные приемники и блоки
"СиБи-Град" (Москва)	Системы слежения для городских перевозок
"Скит" (Екатеринбург)	Автомобильный комплекс "Скит-Alarm"
НИИ телемеханических устройств (Калуга)	Диспетчерские системы контроля и управления пассажирским транспортом
НПП "Термотех" (Королев, Московская обл.)	Системы слежения для городских перевозок (система "ИНС-контроль")
НПП "Транснавигация" (Москва)	Диспетчерские системы контроля и управления пассажирским транспортом
ЗАО "Трансетсервис" (Москва)	Системы слежения для городских перевозок (система "Магеллан-М")

Примером автономной АНС индивидуального назначения является АНС "Кассиопея", разработанная компанией "НавСтрим" [8], основными составляющими базовой комплектации которой являются карманный ПК "Cassiopeia" E-115 фирмы Casio с ЖК-дисплеем, 3-х канальный GPS-приемник с антенной и телефонные наушники.

Рядом фирм на базе GPS разработаны радиоохранные комплексы, предназначенные для сопровождения и охраны автомобилей (например, ООО "Гео Спектрум" - универсальная система навигации, диспетчеризации и мониторинга TrackMaster, ООО "Скит" - система "Скит-Alarm", компания "Навси" - система "Навигатор") [4,9], важной составной частью которых также являются АНС. При работе АНС в составе систем слежения за транспортом существует возможность удобной и экономичной организации работы диспетчерского пункта связи и слежения на базе системы Интернет, а также станций спутниковой связи Inmarsat и Euteltracs. Их предлагают на российском рынке ЗАО "Комбеллга", ЗАО "АВТОР".

Статистические данные

Мировой опыт применения АНС свидетельствует об их высокой эффективности. Сегодня они устанавливаются в Европе на 102 серийные модели автомобилей. Интерес к АНС стимулирует неуклонный рост спроса на них. По оценке US GPS Industry Council к концу 2000 года мировой объем продаж АНС составил 3 млрд. долл. [7]. Если в 1999 году в Европе было продано около полумиллиона автомобильных навигационных систем, то в 2000 году – около миллиона.

Несмотря на насыщенность западного рынка АНС, в последние годы цены на них изменялись незначительно. Если в 1996 году АНС стоили от 2000 долл. до 4000 долл., то в 2000 году их средняя стоимость колебалась около 1990 долл. [5]. При этом стоимость автономных АНС в Европе сегодня составляет 1,530-2,550 долл., а стоимость АНС в составе систем слежения - 255-510 долл. В России стоимость абонентских комплектов систем слежения за автомобилем составляет от 850 до 1550 долл. (при использовании систем связи Inmarsat, Euteltracs – от 6000 до 6500 долл.).

Несколько рекомендаций потребителям АНС в России

Автомобильная навигация в России наталкивается на трудности, связанные, прежде всего с Постановлением Правительства РФ от 17.6.96 г. и законом РФ "О государственной тайне". В соответствии с первым нормативным актом, для ввоза в нашу страну, продажи и приобретения навигационного оборудования требуется специальное разрешение. По закону "О государственной тайне", координаты объектов, определенные с точностью до 100 м, подлежат засекречиванию, а карты масштаба 1:50 000 и более подробные считаются секретными. Кроме того, в настоящее время отсутствуют высокоточные электронные карты большинства отечественных территорий, а их разработка связана со значительными затратами (стоимость одного листа такой карты, в зависимости от числа слоев, составляет от 200 до 1000 долл.). Изложенные причины накладывают ряд особенностей на разработку АНС российскими фирмами, использование ими в своих разработках импортных составляющих, а также на применение АНС потребителями.

Авторы могут предложить несколько общих рекомендации российским потребителям АНС:

Если планируется использовать автомобиль, оснащенный АНС, в пределах одного мегаполиса, предпочтительным является вариант АНС, входящей в состав системы слежения (радиоохранного комплекса).

Если потребитель планирует применять АНС в различных городах и странах, а также для спортивного ориентирования и ралли, более предпочтительной является автономная АНС. При этом возможно использование на автомобиле как АНС в составе приемника GPS с встроенной картой, позволяющей фиксировать координаты ключевых поворотов и

прокладывать курс, так и комплекта АНС из портативного ПК (ноутбука) и сопряженного с ним приемника GPS. Однако следует учитывать, что при движении по труднопроходимой местности сохранность ПК гарантировать сложно.

В связи с высокими темпами городского строительства и связанным с этим устареванием электронных карт целесообразно при приобретении автономной АНС предусмотреть обновление карт отдельной строкой в договоре. Если пользователь решит приобрести обновленные карты самостоятельно, предпочтительнее, чтобы они были созданы на основе универсальных ГИС-редакторов (MapInfo, ArcView, ГеоГраф), предоставляющих возможность их обновления. При приобретении АНС, входящей в состав системы слежения (радиоохранного комплекса), предпочтительно уточнить, как часто обновляется геоинформационная система диспетчерского центра.

В городских условиях в интересах обеспечения большей степени безопасности предпочтительной является АНС с голосовым интерфейсом.

При приобретении АНС необходимо убедиться, что все компоненты оборудования имеют необходимые лицензии, сертификаты и разрешение Госсвязьнадзора РФ (особенно АНС, имеющие в своем составе компоненты импортного производства). Если АНС уже установлена на машине, то продавец таких автомобилей должен получить лицензию и разрешение на право торговли навигационными приборами и обязательно уведомлять каждого покупателя о необходимости регистрации спутникового приемника.

При приобретении АНС, работающей в комплексе с городской инфраструктурой (имеющей выход в Интернет), либо АНС, входящей в состав системы слежения (радиоохранного комплекса), целесообразно уточнить, включена ли в стоимость системы стоимость аппаратуры связи и стоимость регистрации в сетях связи.

Марка (тип) навигационного приемника в значительной степени определяет уровень доступности и достоверности навигационного сигнала, и, как следствие, точность и надежность работы АНС. Целесообразно, чтобы в ее состав входил интегрированный навигационный приемник, имеющий возможность приема сигналов нескольких радионавигационных систем. При использовании только GPS-приемника целесообразно, чтобы он имел канал приема дифференциальной поправки.

Целесообразно, чтобы имелась возможность замены информационно-электронных блоков АНС (прежде всего, ПК и дисплея) в ходе развития микропроцессорной техники или при изменении требований потребителя.

Литература

1. *Васильев В.* - Электроника: НТБ, 2000, №2.
2. *Внуков А.Б., Кульнев В.В.* - Оборудование, системы, технологии, 2000, № 4.
3. *Милов Ю.Г., Денисов В.И. и др.* – Радиотехника (журнал в журнале), 1998, № 9.
4. Рекламные материалы компании "Гео - Спектрум";
5. <http://kis.pcweek.ru/year2000/№2/CP1251.htm>.
6. <http://www.skit.unets.ru/skit-alarm.htm>.
7. <http://www.trimble.com.htm>.
8. <http://inessa.nsk.su/ours/ours.htm>.
9. <http://www.volga.ru/avtor/c/fms.htm>.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ, СОВМЕСТИМОСТИ И СОПРЯЖЕНИЯ СУЩЕСТВУЮЩЕГО И НОВОГО ПАРКА РАДИОСРЕДСТВ МИНИСТЕРСТВА ОБОРОНЫ И ДРУГИХ МИНИСТЕРСТВ И ВЕДОМСТВ

Э. В. ГАМБУРГЕР¹, Г. А. ЛАРИОНОВ¹, Д. А. СМИРНОВ¹, М. М. ШИПИЛОВ²

¹Военный университет связи, ²ЗАО "Сигнал"

Abstract. At use of open commercial technologies the preservation and maximal use of available potential of existing systems of communication of the ministries and departments, and also their modernization is offered. One of perspective directions of the decision of the specified problem is the maintenance of integration of departmental networks of ground mobile communication through gates on the basis of federal and regional cellular networks of overland mobile communication.

По оценкам специалистов, основными задачами развития систем связи в настоящее время и в ближайшем будущем являются интеграция служб связи в рамках одной сети и обеспечение совместимости и сопряжения существующего и нового парка средств связи.

Проблема интеграции служб связи содержит три основных аспекта:

- во-первых, информационный, заключающийся в представлении различных видов информационного обмена единым видом электрического сигнала – цифровым;
- во-вторых, технический, состоящий в объединении в одном интегральном устройстве (комплексе) функций распределения, передачи и защиты информации;
- в-третьих, организационный, заключающийся в стандартизации и унификации методов доступа потребителей к ресурсам сети, а также едином управлении сетью от абонента до абонента в условиях передачи различных видов информации.

Ключевым элементом интеграции служб является наличие стандартного набора многоцелевых интерфейсов, которые обеспечивают возможность подключать к сети различных пользователей, начиная от индивидуальных, и заканчивая локальными. Наличие стандартных интерфейсов позволяет обеспечить использование одного и того же интерфейса различными типами систем, отдельную эволюцию абонентского и сетевого оборудования.

Опыт военно-научного сопровождения работ, направленный на развитие телекоммуникационной инфраструктуры в интересах МО РФ, других силовых министерств и ведомств убедительно показывает, что путь реализации "узковедоственных" стратегий в решении задач подобного класса давно исчерпан и требует широкой координации и объединения финансовых и научно-производственных усилий всех заинтересованных заказчиков, разработчиков и потребителей современных информационных услуг. Основой развития должны стать решения, достаточно глубоко проработанные в коммерческих информационных технологиях.

Необходимо отметить, что требования, предъявляемые специальными системами управления (МО, МЧС, МВД и др.), к обеспечению информационного обмена усложняют непосредственное применение коммерческих систем связи в интересах системы связи МО РФ (др. министерств и ведомств), но не являются принципиальными ограничениями на их внедрение.

Рассмотрим возможности обеспечения взаимодействия, совместимости и сопряжения существующего и нового парка радиосредств МО и других министерств и ведомств.

В настоящее время ведомственные сети наземной подвижной связи, в большинстве случаев, строятся с использованием одноканальных симплексных радиостанций УКВ диапазона. Абоненты этих сетей из-за несовместимости частотных диапазонов и режимов работы не могут работать между собой, не говоря уже о возможности выхода на телефонную сеть связи общего пользования и сопряжения с сетями сотовой и транкинговой связи,

которые находят широкое применение в некоторых силовых структурах. Исходя из этого, возникает потребность в разработке требований по обеспечению взаимной работы сетей связи различных стандартов в интересах системы управления, а также технической поддержке этих требований с учетом современных технических решений.

Одним из перспективных направлений решения указанной проблемы является обеспечение интеграции ведомственных сетей наземной подвижной связи при помощи шлюзовых терминалов на базе федеральных сотовых сетей сухопутной подвижной связи стандартов GSM-900 и NMT-450, а так же региональных сотовых и транкинговых стандартов (рис. 1).

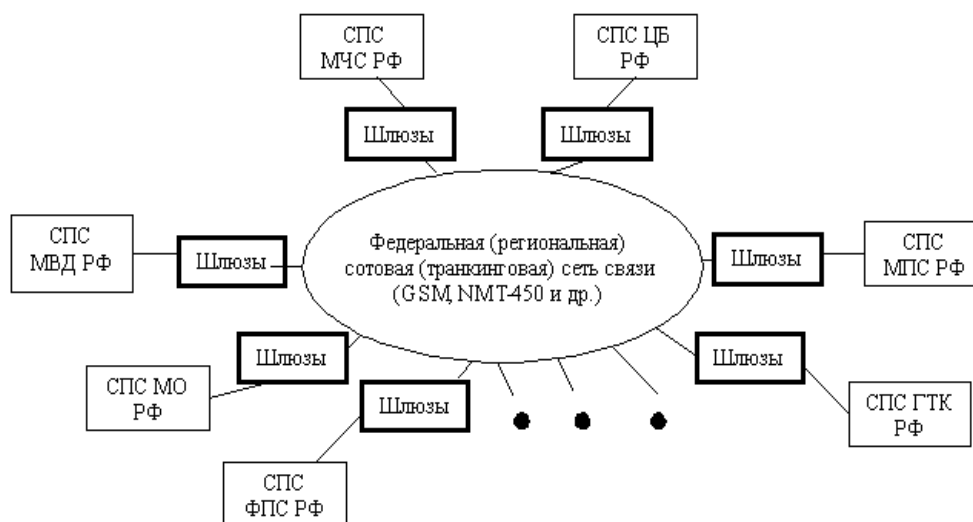
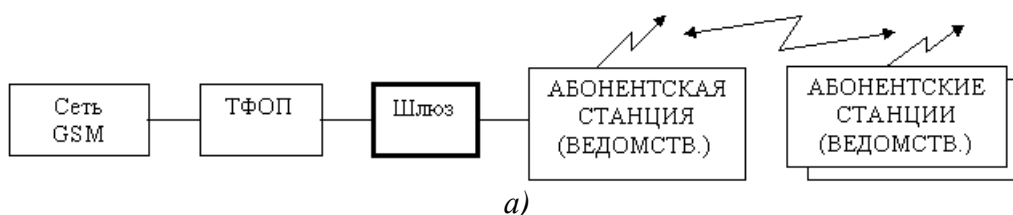


Рис. 1. Обеспечение интеграции ведомственных сетей наземной подвижной связи при помощи шлюзовых терминалов СПС – сеть подвижной связи

Под шлюзовым терминалом будем понимать совокупность устройств, позволяющих организовать межсистемные соединения.

На практике можно реализовать несколько вариантов межсистемных соединений сетей подвижной связи:

- через телефонную сеть общего пользования (ТФОП) (рис.2 а);
- с помощью шлюзовых станций, подключаемых к базовым станциям федеральных (региональных) сотовых (транкинговых) сетей (рис. 2 б);
- с помощью шлюзов, соединяющих абонентские станции различных систем подвижной связи (рис. 2 в).



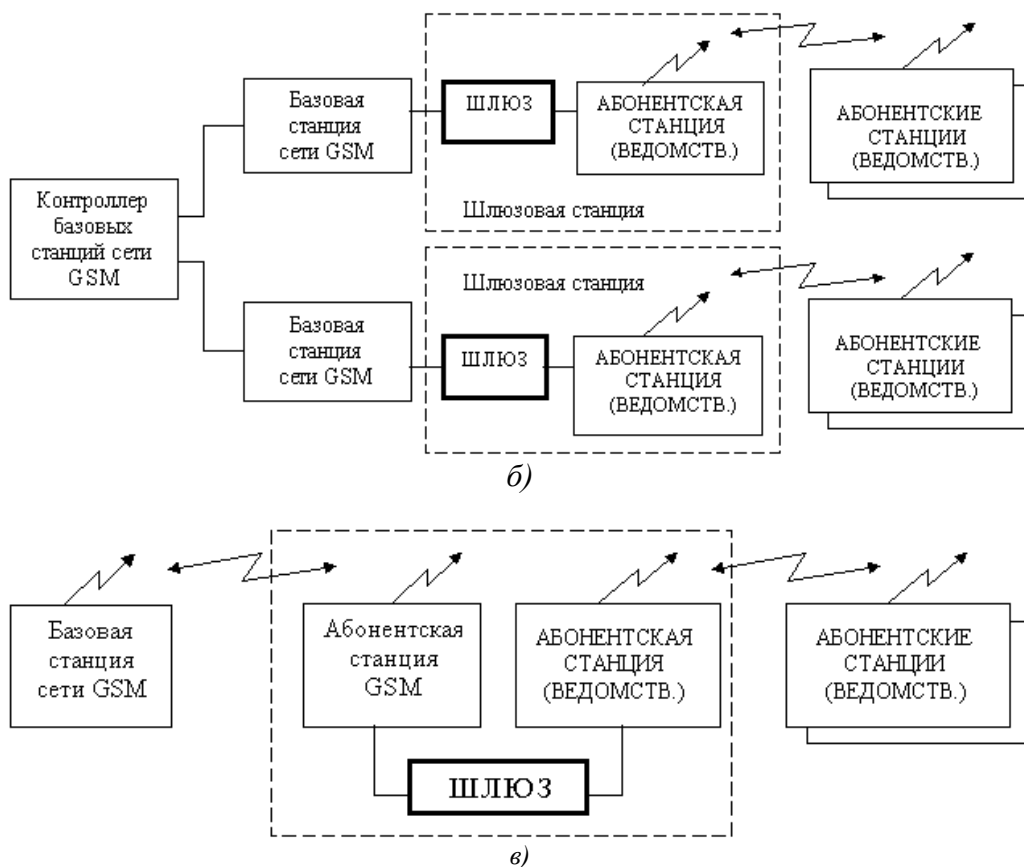


Рис. 2. Варианты межсистемных соединений сетей подвижной связи

При выборе варианта необходимо учитывать следующие требования к организации сети подвижной связи:

- простота;
- быстрота развёртывания дополнительных элементов (шлюзов);
- сохранение существующей системы нумерации федеральной сети СПС;
- обеспечение высокой мобильности системы в целом;
- минимизация дополнительного оборудования;
- минимальные изменения инфраструктуры федеральных (региональных) сетей.

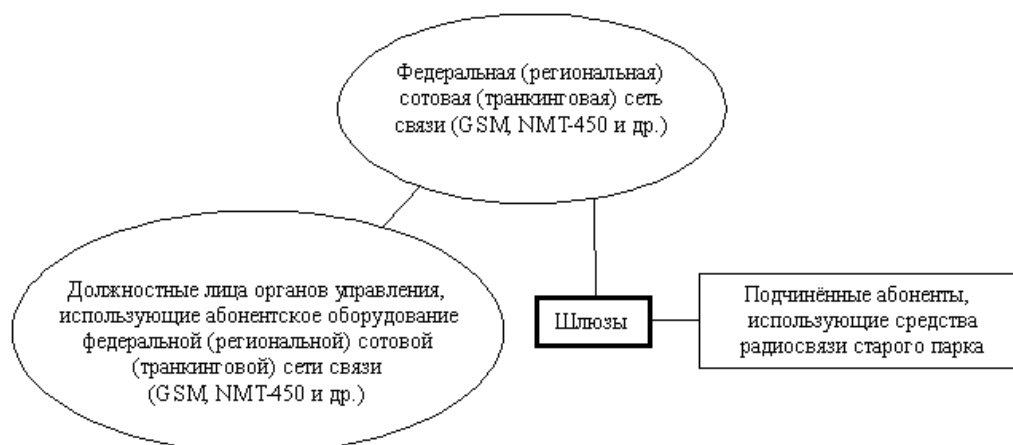


Рис. 3. Объединение в рамках одного ведомства абонентов, использующих системы связи различных стандартов

Очень важным является то, что процесс внедрения и использования в некоторых ведомствах коммерческих стандартов подвижной связи в современных экономических ус-

ловиях может растянуться на годы. Вероятнее всего, в первую очередь новым оборудованием будут обеспечиваться старшие должностные лица органов управления, тогда как их подчинённые, по-прежнему, будут использовать старый парк средств радиосвязи. Использование предлагаемых устройств (шлюзов) позволит в рамках одного ведомства объединить абонентов, работающих в системах связи различных стандартов (на существующем и новом парке радиосредств), например, абонентов ведомственных симплексных УКВ радиосетей и абонентов сетей федеральных стандартов (рис. 3).

В процессе испытаний шлюза (схема на рис. 2 в) были получены следующие данные: Вызов из сети GSM в симплексную радиосеть:

- среднее время соединения абонента городской телефонной сети связи общего пользования (ТФОП) с оператором шлюза – 25 с;
- среднее время опроса оператором шлюза абонента сети GSM или городской ТФОП – 35 с;
- среднее время вызова оператором шлюза абонента симплексной сети радиосвязи – 25 с;
- среднее время опроса оператором шлюза абонента симплексной сети радиосвязи – 20 с;
- Вызов из симплексной радиосети в сеть GSM:
- среднее время вызова абонентом симплексной сети радиосвязи оператора шлюза – 25 с;
- среднее время опроса оператором шлюза абонента симплексной сети радиосвязи – 30 с;
- среднее время соединения оператора шлюза с абонентом сети GSM – 20 с;
- среднее время опроса оператором шлюза абонента сети GSM – 35 с;
- среднее время ведения разговора абонента симплексной сети радиосвязи с абонентом сети связи GSM – 90 с.

Исходя из полученных данных, а также предполагая, что количество вызовов, проходящих через шлюз в обе стороны равно, можно сделать вывод о том, что один шлюз может обслужить полезную нагрузку, не превышающую 0,456 Эрланг.

Увеличения обслуживаемой полезной нагрузки можно добиться путем автоматизации работы шлюза.

При оценке возможного количества абонентов шлюзовой сети необходимо проследить зависимость вероятности блокировки сети в час наибольшей нагрузки от числа абонентов при заданном количестве шлюзов.

Пусть количество шлюзов (N) равно 3. Нагрузка, создаваемая одним абонентом в час наибольшей нагрузки (A_c) складывается из средней полезной нагрузки (A_{cn}), составляющей 0,025 Эрланг и средней нагрузки, обслуживаемой шлюзом в процессе ручного соединения абонентов (A_{cc}), полученной из приведенных выше экспериментальных данных и составляющей 0,03 Эрланг. Таким образом, нагрузка, создаваемая одним абонентом в час наибольшей нагрузки равна:

$$A_c = A_{cn} + A_{cc} \quad (1)$$

Используя соотношение (1) получаем $A_c = 0,025 + 0,03 = 0,055$ Эрланг.

Вероятность блокировки сети (P), вычисляемая по формуле Эрланга для системы с отказами равна:

$$P = \frac{A^N}{N! \sum_{n=0}^N \frac{A^n}{n!}}, \quad (2)$$

где A – общая нагрузка, циркулирующая в сети и равная: $A = A_c N_a$; N_a – количество абонентов; N – количество шлюзов.

Используя соотношение (2) можно получить зависимость вероятности блокировки шлюзовой сети от числа абонентов, изображенную на графике (рис. 4):

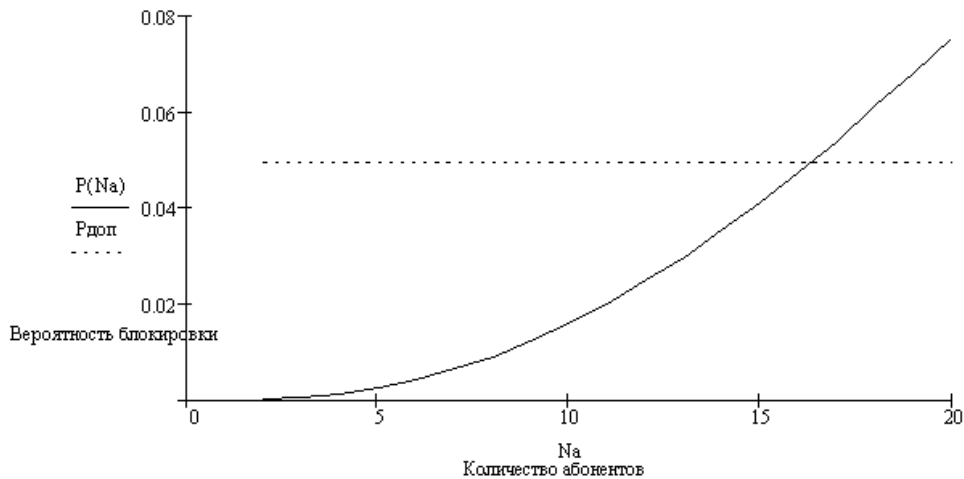


Рис. 4. Зависимость вероятности блокировки шлюзовой сети от числа абонентов

Пунктирной линией на графике отмечено требуемое значение вероятности блокировки сети $P_{доп} = 0,05$. Из графика видно, что при данных условиях число абонентов шлюзовой сети не должно превышать 16.

Увеличения числа абонентов шлюзовой сети можно добиться увеличением количества шлюзов или путем автоматизации работы шлюза.

Таким образом, использование шлюзовых терминалов дает возможность на начальном этапе создания единого информационного пространства, продлить срок эксплуатации парка существующих радиостанций, относительно безболезненно проводить замену средств старого парка на более современные, не изменяя при этом существующую систему связи, а проводя ее модернизацию, осуществить как межведомственную, так и внутриведомственную интеграцию сетей подвижной радиосвязи различных стандартов.

Немаловажным является тот факт, что создание и внедрение шлюзовых терминалов не требует значительных финансовых затрат.