

# "Ассоциация ГЛОНАСС/ГНСС-форум"

## Ваш гид в мире навигации!



**Ассоциация разработчиков, производителей и потребителей  
оборудования и приложений на основе глобальных  
навигационных спутниковых систем**

**Ассоциация, опираясь на опыт ведущих специалистов  
в области использования спутниковых навигационных технологий,  
предлагает сотрудничество по следующим направлениям:**

- консалтинг по внедрению навигационных технологий и их использованию;
- сертификация аппаратуры спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS и систем на ее основе;
- консультационное сопровождение при подготовке конкурсной документации по внедрению информационно-навигационных систем;
- экспертная оценка конкурсной документации и поданных заявок;
- содействие в организации международного сотрудничества;
- выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;
- разработка информационно-аналитических материалов;
- проведение маркетинговых исследований;
- организация и проведение мероприятий;
- нормативно-правовое обеспечение и юридическая поддержка деятельности.

Адрес: 125167, Москва, 4-ая ул. Восьмого Марта, д.3.  
Тел. +7 (499) 152 31 70. Факс: +7 (499) 152 96 35. E-mail: [info@aggf.ru](mailto:info@aggf.ru). URL: [www.aggf.ru](http://www.aggf.ru)

**Учредитель**

ООО "Издательский дом Медиа Паблшер"

**Главный редактор: Легков К.Е.**

HT-ESResearch@yandex.ru

**Издатель: Дымкова С.С.**

ds@media-publisher.ru

**Редакционная коллегия****Бобровский В.И.***д.т.н., доцент***Борисов В.В.***д.т.н., профессор***Будко П.А.***д.т.н., профессор***Будников С.А.***д.т.н., доцент, член-корреспондент Академии информатизации образования***Верхова Г.В.***д.т.н., профессор***Гончаревский В.С.***д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ***Комашинский В.И.***д.т.н., профессор***Кирпанев А.В.***д.т.н., с.н.с.***Курносков В.И.***д.т.н., профессор, академик Арктической академии наук, академик Международной академии информатизации, академик Международной академии обороны, безопасности и правопорядка, член-корреспондент РАЕН***Мануйлов Ю.С.***д.т.н., профессор***Морозов А.В.***д.т.н., профессор, член Академии военных наук РФ***Мошак Н.Н.***д.т.н.***Пророк В.Я.***д.т.н., доцент***Семенов С.С.***д.т.н., доцент***Синицын Е.А.***д.т.н., профессор***Тучкин А.В.***д.т.н., с.н.с.***Шатраков Ю.Г.***д.т.н., профессор*

# СОДЕРЖАНИЕ

## ТЕХНОЛОГИИ БЕСПРОВОДНОГО ШИРОКОПОЛОСНОГО ДОСТУПА

**Голубинцев А.В.**

Расчет пропускной способности систем беспроводного доступа специального назначения

4

**Мясникова А.И.**

Возможности применения беспроводных mesh-сетей в сетях специального назначения

8

**Божко Е.С., Малышко А.В.**

Исследования характеристик радиопокрытия и емкости сетей четвертого поколения

11

## СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**Буренин А.Н., Легков К.Е.**

К вопросу управления рисками при обеспечении безопасности инфокоммуникационных сетей специального назначения

17

**Легков К.Е., Мясникова А.И.**

Управление инфокоммуникационными услугами в мультисервисных сетях специального назначения

20

## ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЩЕСТВА

**Конев Д.С.**

К вычислению модуля комплексного числа и огибающей аналитического сигнала

23

**Белов С.П., Старовойт И.А., Забнин С.А.**

Применение адаптивной квадратурной модуляции в задачах формирования широкополосных сигналов, основанных на собственных векторах субполосных матриц

26

## ЭКОНОМИКА В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯХ

**Сущенко М.И., Головина И.В., Абрамов Я.Б.**

К вопросу о процессном подходе к изучению экономической теории

28

**Овчаров М.С., Литвинова И.Н.**

Перспективные направления развития инфокоммуникационной отрасли

31

# CONTENT

## WIRELESS BROADBAND ACCESS TECHNOLOGIES

**Golubintsev A.V.**

Calculation of throughput of systems of wireless access of a special purpose

4

**Myasnikova A.I.**

Possibilities of application of wireless mesh-networks on networks of a special purpose

8

**Bozhko E.S., Malyshko A.V.**

Researches of radio covering characteristics and capacity of fourth generation networks

11

## CONTROL SYSTEMS

**Burenin A.N., Legkov K.E.**

Risk management in case of safety of special purpose infocommunication networks

17

**Legkov K.E., Myasnikova A.I.**

Control of the infocommunication services on special purpose multiservice networks

20

## INFORMATION SOCIETY TECHNOLOGIES

**Konev D.S.**

To computation of the complex number module and analytical signal envelope

23

**Belov S.P., Starovoyt I.A., Zabnin S.A.**

Application of the adaptive quadrature modulation in tasks of formation of the broadband signals based on latent vectors of subband matrixes

26

## ECONOMY IN TELECOMMUNICATIONS

**Suscshenko M.I., Golovina I.V., Abramov Ya.B.**

Process approach to study of the economic theory

28

**Ovcharov M.S., Litvinova I.N.**

Perspective directions of infocommunication branch development

31

Vol IV  
No. 3-2012



High technologies  
in Earth space research

Периодичность выхода – 4 номера в год  
Стоимость одного экземпляра 500 руб.

Тираж 1000 экз. + Интернет-версия

### Тематические направления:

• Вопросы развития АСУ • Физико-математическое обеспечение разработки новых технологий и средств инфокоммуникаций • Условия формирования основных стандартов подвижной связи • Проектирование, строительство и интерактивные услуги в СПС • Биллинговые и информационные технологии • Электромагнитная совместимость • Антенно-фидерное оборудование • Источники электропитания • Волоконно-оптическое оборудование и технологии • Вопросы исследования космоса • Спутниковое телевидение, системы спутниковой навигации, GLONASS, построение навигационных систем GPS • Вопросы развития геодезии и картографии • Программное обеспечение и элементная база для сетей связи • Компьютерная и IP-телефония • Информационная и кибербезопасность • Вопросы исследования Арктики • Метрологическое обеспечение • Правовое регулирование инфокоммуникаций, законодательство в области связи • Экономика связи

### Редакция

Издатель: Светлана Дымкова  
ds@media-publisher.ru

Главный редактор: Константин Легков  
<H9GFYgYUf\4 mJbXYI "fi

Выпускающий редактор:  
Ольга Дорошкевич  
ovd@media-publisher.ru

Предпечатная подготовка  
ООО "ИД Медиа Паблишер"

[www.media-publisher.ru](http://www.media-publisher.ru)

### Адрес редакции

111024, Россия, Москва,  
ул. Авиамоторная, д. 8, офис 512-514  
Тел.: +7 (495) 957-77-43

194044, Россия, Санкт-Петербург,  
Лесной Проспект, 34-36, корп. 1,  
Тел.: +7(911) 194-12-42

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия.

Мнения авторов не всегда совпадают с точкой зрения редакции. За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

Материалы, опубликованные в журнале – собственность ООО "ИД Медиа Паблишер". Перепечатка, цитирование, дублирование на сайтах допускаются только с разрешения издателя

All articles and illustrations are copyright. All rights reserved.  
No reproduction is permitted in whole or part without the express consent of Media Publisher JSC

© ООО "ИД Медиа Паблишер", 2012

# Расчет пропускной способности систем беспроводного доступа специального назначения

Системы широкополосного беспроводного абонентского доступа являются одним из важнейших элементов систем связи специального назначения, так как повсеместно используются в современных мультисервисных инфокоммуникационных сетях и при помощи терминального оборудования непосредственно обеспечивают стык "пользователь-сеть". Следовательно, от качества предоставления ими услуг в большей степени зависит непрерывность и оперативность процессов управления войсками и оружием. Поэтому решение задач расчета пропускной способности и рационального распределения материальных ресурсов систем широкополосного беспроводного абонентского доступа является актуальной.

**Ключевые слова:** беспроводный доступ, абонент, пропускная способность, система связи, сегмент сети.

Голубинцев А.В.,  
Северо-Кавказский филиал  
Московского технического университета  
связи и информатики

## Calculation of throughput of systems of wireless access of a special purpose

Golubintsev A.V.,  
North Caucasian branch of the Moscow  
technical university of communication  
and informatics

### Abstract

Systems of broadband wireless subscriber access are one of the most important elements of communication systems of a special purpose as are everywhere used on the modern multiservice infocommunication networks and by means of terminal equipment directly provide a joint "user network". Therefore, the continuity and efficiency of administrative processes more depends on quality of provision of services by them armies and the weapon. Therefore the solution of tasks of calculation of throughput and rational distribution of the material resources of systems of broadband wireless subscriber access is actual.

**Keywords:** wireless access, subscriber, throughput, communication system, network segment.

Главной функцией любой системы управления, в том числе и управления связью, является выработка и принятие обоснованных решений в условиях неопределенности. Для этого необходимо, чтобы лицо, принимающее решение имело достаточно полную информацию о состоянии системы связи в режиме реального времени, которое может базироваться на результатах работы систем поддержки принятия решений.

Системы широкополосного беспроводного абонентского доступа являются одним из важнейших элементов систем связи специального назначения, так как повсеместно используются в современных мультисервисных инфокоммуникационных сетях и при помощи терминального оборудования непосредственно обеспечивают стык "пользователь-сеть". Следовательно, от качества предоставления ими услуг в большей степени зависит непрерывность и оперативность процессов управления войсками и оружием. Поэтому решение задач расчета пропускной способности и рационального распределения материальных ресурсов систем широкополосного беспроводного абонентского доступа является актуальной. Данная задача относится к классу минимаксных, так как в качестве ограничений используется минимизация расходов на оборудование, что характерно именно для сетей специального назначения, которые функционируют в условиях неблагоприятных воздействий и жестких ограничений на используемые ресурсы. Следует заметить, что при расчете характеристик подобных сетей, необходимо учитывать нагрузку на сеть для выполнения требований потребителей услуг по

пропускной способности. Причем, расчет пропускной способности сети в целом целесообразно начинать именно с расчета пропускной способности сегментов абонентского доступа. Ошибки в расчетах приводят к снижению производительности сети или к увеличению материальных вложений в её инфраструктуру. Таким образом, в данной работе рассматриваются некоторые аспекты исследования проблемы пропускной способности систем широкополосного беспроводного абонентского доступа сетей специального назначения и методики ее расчета.

Рассмотрим сегмент беспроводной сети, включающий  $N$  статистически однородных терминальных станций (ТС) и одну базовую станцию (БС). Сеть имеет физическую топологию "сота" с БС в центре соты, в зоне покрытия которой располагаются "взаимовидимые" ТС, скрытые станции отсутствуют [1]. Под статистической однородностью станций понимается одинаковость распределений  $\{d_l, l = l_{\min}, \dots, l_{\max}\}$  длин пакетов, поступающих из очереди, причем учёту подлежат только активные станции, имеющие хотя бы один пакет в очереди на передачу. Совершенно очевидно, что выходная мощность БС в несколько раз больше мощностей передатчиков мобильных пользователей.

Введем некоторые ограничения на характер трафика: весь восходящий трафик направлен во внешнюю сеть; нисходящий трафик поступает из внешней сети, т. е. информационные потоки между ТС отсутствуют; трафика от БС к ТС распределён равномерно, т. е. текущий пакет БС предназначен любой ТС с вероятностью  $1/N$ .



Влияние затухания учитывается как возможное подавление одного сигнала другим. Поясним это на практическом примере. Пусть две станции находятся на расстояниях  $R_1$  и  $R_2$ , ( $R_2 > R_1$ ) от БС (рис. 1).

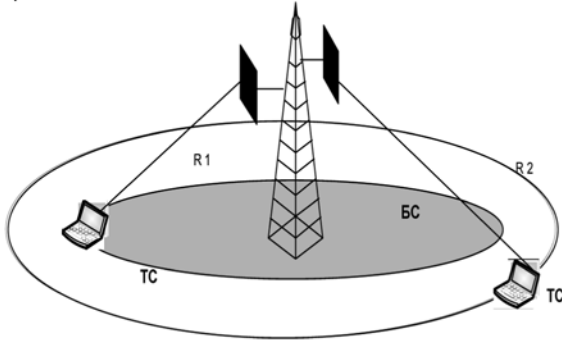


Рис. 1. Схема сегмента сети беспроводного абонентского доступа

Тогда при одновременной передаче БС воспримет сигнал от станции №2 как шум на фоне сигнала от станции №1, если соотношение этих сигналов больше некоторой величины  $A$  [дБ]:  $10 \lg (R_2 / R_1)^v > A$ , (1) где  $v=2$  для вакуума или коротких дистанций связи,  $v \approx 3,3$  для реальных условий распространения.

Таким образом, станция  $ТС_i$  с радиус-вектором  $R_i$  будет конкурировать только со станциями, расположенными не дальше расстояния  $R_i' = R_i \cdot 10^{A/10v}$  от БС., которые и будут определять вероятность коллизии и вероятность передачи для  $ТС_i$ .

Разделим все время работы сети на виртуальные временные слоты различной длины. В начале каждого такого слота станция уменьшает значение счетчика отсрочки и если этот счетчик обнуляется начинает передачу.

Виртуальный слот может представлять собой:

– «пустой» слот, в котором ни одна из станций не ведет передачу;

– «успешный» слот, когда происходит успешная передача пакета данных (и подтверждение приема) от БС к ТС или от ТС к БС;

– «коллизийный» слот, когда одновременно передают две и более станции, поэтому передаваемые кадры искажаются из-за взаимного влияния [5].

Будем предполагать, что вероятность начала передачи данной станцией в данном слоте не зависит от предыстории работы сети. Тогда вероятности того, что произвольно выбранный виртуальный слот будет «пустым» ( $p_e$ ), «успешным» ( $p_s$ ) или «коллизийным» ( $p_c$ ), определяются выражениями:

$$p_e = \prod_{i=0}^N (1 - \tau_i), \quad p_s = \sum_{i=0}^N p_{si}, \quad p_c = 1 - p_e - p_s \quad (2)$$

где  $p_{si}$  – вероятность «успешного» слота для  $i$ -й станции;  $n_i$ ,  $n_i \neq 0$  – множество терминальных станций, с которыми она

Следует заметить, что для простоты изложения значения параметров с нулевыми индексами соответствуют параметрам базовой станции. Тогда, с учетом принятых допущений, можно записать

$$p_{s0} = \tau_0 \sum_{i=0}^N \frac{1 - \tau_i}{N} \sum_{l_0=l_{\min}}^{l_{\max}} \hat{d}_{l_0,0} \prod_{k \in n_i} [1 - \tau_k \cdot \sum_{l_k > l} \hat{d}_{l_k}]^{\tau_i} \quad (3)$$

$$p_{si} = \tau_i (1 - \tau_0) \prod_{k \in n_i} (1 - \tau_k), \quad i = 1, \dots, N' \quad (4)$$

где  $\hat{d}_{lk}$  вероятность передачи пакета длиной  $l$  станцией  $k$ .

Распределение  $\{\hat{d}_l, l = l_{\min}, \dots, l_{\max}\}$  отличается от  $\{d_l, l = l_{\min}, \dots, l_{\max}\}$ ,  $d_l[k]$  – определяет вероятность того, что в рассматриваемую попытку передачи  $k$ -й станции происходит передачи пакета длиной  $l$ , а  $d_l$  это распределение длин пакетов, поступающих на MAC – уровень от протоколов более высоких уровней. Очевидно, что чем длиннее пакет, тем больше вероятность его искажения и тем больше может быть число попыток его передачи.

Таким образом, пропускная способность  $S$  всей сети находится по формуле:

$$S = \frac{p_s \bar{U}}{(p_e \sigma + p_s \bar{T}_s + p_c \bar{T}_c)} \quad (5)$$

где  $\bar{T}_s$  и  $\bar{T}_c$  – средние длительности «успешного» и «коллизийного» слотов, а  $\bar{U}$  – среднее число байт информации, переданной в течение «успешного» слота.

Можно также выделить пропускную способность восходящего канала (от ТС к БС -  $S_{up}$ ) и нисходящего канала (от БС к ТС  $S_{down}$ ):

$$S = S_{up} + S_{down}; \quad S_{up} = \sum_{i=1}^N S_{up}^i, \quad S_{down} = \frac{p_{s0} \bar{U}_0}{(p_e \sigma + p_s \bar{T}_s + p_c \bar{T}_c)} \quad (6)$$

$$\text{где } S_{up}^i = \frac{p_{si} \bar{U}_i}{(p_e \sigma + p_s \bar{T}_s + p_c \bar{T}_c)} \quad (7)$$

емкость канала, приходящаяся на  $ТС_i$ , а  $\bar{U}_i$  соответствует  $\bar{U}$  для  $i$ -й ТС.

Для практического расчета пропускной способности беспроводной сети необходимо определить все компоненты формулы (4).

Считая, что вероятности коллизии трех станций и более пренебрежительно малы по сравнению с вероятностью коллизии двух станций, можно получить:

$$\bar{T}_c = \frac{1}{\dots} \cdot \sum_{i,j} p_c^{ij} \bar{T}_c^{ij} \quad (8)$$

где  $p_c^{ij} = p_{si} \frac{\tau_j}{1 - \tau_j}$  вероятность одновременной передачи

только  $i$ -й и  $j$ -й станций;  $\bar{T}_c^{ij}$  определяется эмпирической формулой:

$$\begin{aligned} \bar{T}_c^{ij} = & \sum_{l=l_{\min}}^L t(l) \left[ \left( \sum_{k=l_{\min}}^l \hat{d}_{ki} + \sum_{k=L+1}^{l_{\max}} \hat{d}_{ki} \right) \left( \sum_{k=l_{\min}}^l \hat{d}_{kj} + \sum_{k=L+1}^{l_{\max}} \hat{d}_{kj} \right) \right] - \\ & - \left[ \left( \sum_{k=l_{\min}}^{l-1} \hat{d}_{ki} + \sum_{k=L+1}^{l_{\max}} \hat{d}_{ki} \right) \left( \sum_{k=l_{\min}}^{l-1} \hat{d}_{kj} + \sum_{k=L+1}^{l_{\max}} \hat{d}_{kj} \right) \right] + \\ & + t_{RTS} \left( \sum_{k=L+1}^l \hat{d}_{ki} \right) \left( \sum_{k=L+1}^{l_{\max}} \hat{d}_{kj} \right) + EIFS \end{aligned} \quad (9)$$

где  $\bar{T}_c^{ij}$  – средняя длительность коллизии станций  $i$  и  $j$ ,  $L$  – RTS-порог,  $t_{RTS}$  – длительность кадра RTS, EIFS – интервал времени, завершающий попытку передачи в случае коллизии.

В квадратных скобках последней формулы стоит дифференциал функции распределения общей длительности передачи станций (с момента начала до момента окончания передачи последней станции) при условии, что хотя бы одна из станций использует в своей попытке передачи базовый метод доступа. Здесь учтен тот факт, что функция распределения максимума случайных величин есть произведение функций распределения этих величин. Кроме того, в выражении для  $\bar{T}_c^{ij}(l) = t_i + \frac{l}{v}$  – время передачи кадра с данными,  $t_H$  – время передачи заголовка кадра и  $l$  – длина пакета данных.

Пусть в начале «успешного» слота одна из станций начала передачу пакета длиной  $l$ , тогда ее попытка не удастся со следующей вероятностью:

$$\text{для ТС } \pi_h(l) = \begin{cases} \xi_d(l), l \leq L \\ 1 - (1 - \xi_r)(1 - \xi_d(l)), l > L \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{для БС } \pi_h(l) = \begin{cases} \xi_a(l), l \leq L \\ 1 - (1 - \xi_a)^2, l > L \end{cases} \quad (11)$$

где вероятности искажения помехами кадров различных типов  $\xi$  определяются по формуле  $\xi = 1 - \exp\{-fBER\}$ , где BER – вероятность искажения одного бита информации (интенсивность помех).

Тогда средняя длительность «успешного» слота при передаче  $i$ -й станцией пакета длиной  $l$  равна:

$$\bar{T}_s(l) = t(l) + [1 - \xi_d(l)](SIFS + t_{ACK}) + [1 - \pi_h(l)]DIFS + \pi_h(l)EIFS, l \leq L \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \bar{T}_s(l) = & t_{RTS} + (1 - \xi_r)(t_{CTS} + SIFS) + \\ & + (1 - \xi_r) \{t(l) + SIFS + [1 - \xi_d(l)](t_{ACK} + SIFS)\} + \\ & + [1 - \pi_h(l)]DIFS + \pi_h(l)EIFS, l > L \end{aligned} \quad (13)$$

Аналогично для БС

$$\bar{T}_s(l) = t(l) + \delta + (SIFS + \delta + t_{ACK}) + [1 - \pi_h(l)]DIFS + \pi_h(l)EIFS, l \leq L, \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \bar{T}_s(l) = & t_{RTS} + (t_{CTS} + SIFS) + (1 - \xi_a) \{t(l) + SIFS + (t_{ACK} + SIFS)\} + \\ & + [1 - \pi_h(l)]DIFS + \pi_h(l)EIFS, l > L, \end{aligned} \quad (15)$$

где  $t_{CTS}$  и  $t_{ACK}$  – длительность кадров CTS и ACK соответственно; SIFS – короткие межкадровые промежутки; DIFS – интервал времени, завершающий удачно переданный пакет;  $\delta$  – задержка распространения сигнала.

В итоге получаем:

$$\bar{T}_s = \frac{1}{P_s} \sum_{i=0}^N p_{si} \bar{T}_{si}, \quad \bar{T}_{si} = \sum_{l=0}^N \bar{T}_s(l) \hat{d}_{li}, \quad (16)$$

$$\bar{U} = \frac{1}{P_s} \sum_{i=0}^N p_{si} \bar{U}_i, \quad \bar{U}_i = \sum_{l=l_{\min}}^{l_{\max}} (1 - \pi_h(l)) \hat{d}_{li}, \quad (17)$$

Таким образом, получены все компоненты формулы (4), и пропускная способность сети беспроводного широкополосного доступа может быть найдена, если известны вероятности передачи  $\tau_i$  и распределения  $\{\hat{d}_{li}\}$  длин пакетов, передаваемых станциями. В свою очередь,  $\tau_i$  определяется как:

$$\tau_i = \sum_{l=1}^{l_{\max}} d_l f_l / \sum_{l=1}^{l_{\max}} d_l (f_l + \bar{w}_l), \quad (18)$$

где  $f_l$  и  $\bar{w}_l$  – средние количества попыток, совершаемых этой станцией, и виртуальных слотов, в которые станция воздерживается от передачи, в течении рассматриваемого процесса соответственно ( $\bar{w}_l$  – можно назвать суммарным временем отсрочки).

$$f_i = \sum_{i=1}^{N_i} i \psi_i(i), \quad \bar{w}_i = \sum_{i=1}^{N_i} \bar{W}_i \psi_i(i), \quad (19)$$

где  $\psi_i(i)$  вероятность, что происходит ровно  $i$  попыток.

Суммарное время отсрочки  $\bar{W}_i$  определенное при условии  $i$  попыток находится как:

$$\bar{W}_i = \sum_{k=0}^{i-1} \frac{W_k - 1}{2} = W_{i-1} - \frac{W_0 + i}{2}, \text{ при условии } 1 \leq m \leq m+1, \quad (20)$$

$$\bar{W}_i = \sum_{k=0}^m \frac{W_k - 1}{2} + \frac{W_m - 1}{2} (i - 1 - m) = W_m \frac{i - m + 1}{2} - \frac{W_0 + i}{2}, \quad (21)$$

Тогда, процесс передачи пакета закончится отказом после  $N_s$ -попытки с вероятностью  $p_{rei}(l) = [\pi_c(l)]^{N_s}$  или завершится успешно на  $i$  – попытке с вероятностью:



$$\psi_i^s(i) = [1 - \pi_c(l)] \pi_c(l)^{i-1}, i = 1, \dots, N_s, \quad (22)$$

Следовательно,

$$\psi_l(i) = \psi_i^s(l) = [1 - \pi_c(l)] \pi_c(l)^{i-1}, i = 1, \dots, N_s - 1, \quad (23)$$

где вероятность  $\pi_c$  неудачи из-за коллизии определяется по формулам:

$$\pi_c = 1 - \prod_{k \in n_i} (1 - \tau_k), \quad (24)$$

для ТС<sub>i</sub> (т.е. при определении  $\tau_i$ ) и

$$\pi_c = 1 - \frac{P_{s[0]}}{\tau_{[0]}}, \quad (25)$$

для БС (т.е. при определении  $\tau_i$ )

$$\{\hat{d}_i\} = d_i f_i / \sum_{k=1}^{I_{\max}} \sum_{v=0}^{K(u)} d_{uv} f_{uv}, \quad (26)$$

В общем случае можно определить следующий алгоритм расчета пропускной способности сети беспроводного широкополосного доступа:

1. Задаются параметры как всей системы, так и отдельных станций (например, размер минимального конкурентного окна  $CW_{\min} = W_0$ ); кроме того определяется начальное значение  $\tau_i = \frac{1}{CW_{\min}}, i = 1, \bar{N}$ .

2. Для каждой станции и БС, всевозможных длин пакетов  $l$  и количества попыток  $i$  вычисляем вероятности  $\psi_l(i)$  средние  $f_i$  и  $w_i$ .

3. Находим новые значения вероятности передачи  $\tau_i$  и

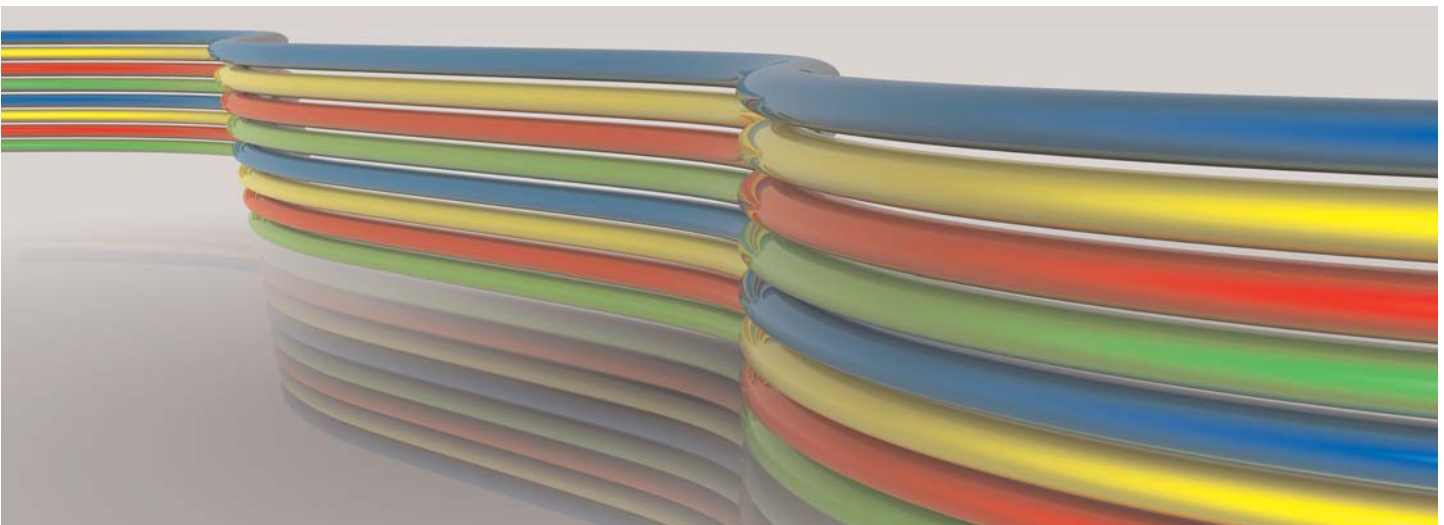
сравниваем их с предыдущими. Если разница между ними больше некоторого значения – точности оценки  $\tau_i$ , то возвращаемся к шагу 2 с  $\tau_i$  равными полусумме старого и нового значений.

4. По формуле (4) находим значение пропускной способности.

Предлагаемое решение позволит на основе требований, заданных потребителями услуг, а также конкретных условий функционирования произвести расчеты пропускной способности сети широкополосного беспроводного абонентского доступа, результаты расчетов могут быть использованы в системах поддержки принятия решения по управлению соответствующей системой связи. В свою очередь, обоснованное решение позволит достичь экономического эффекта за счет минимизации расходов на оборудование и повысить эффективность функционирования сети в целом.

#### Литература

1. Легков К.Е., Кисляков М.А., Донченко А.А. Обзор типовых условий функционирования систем беспроводного широкополосного доступа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки, 2009. – №1. – С. 51-54.
2. Донченко А.А., Легков К.Е. Беспроводные городские сети: анатомия стандартов IEEE 802.16 // Сборник трудов СКФ МТУСИ – 2009. – Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2009. – С. 46-49.
3. Cali F., Conti M., Gregori E. Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit // IEEE Trans. On Networking, Dec 2000. No. 8(2). Pp. 785-799.
4. Легков К.Е., Донченко А.А., Садовов В.В. Современные технологии беспроводного широкополосного доступа 802.16е и LTE: перспективы внедрения на транспорте // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт, 2010. – №2. – С. 30-33.



# Возможности применения беспроводных mesh-сетей в сетях специального назначения

Одним из главных принципов построения mesh-сети является принцип самоорганизации архитектуры, обеспечивающий такие возможности, как реализацию топологии сети "каждый с каждым"; устойчивость сети при отказе отдельных компонентов; масштабируемость сети; динамическую маршрутизацию трафика; контроль состояния сети и т.д. Mesh-технология становится особенно необходимой при отсутствии проводной инфраструктуры для соединения станций. Эти положительные качества неуклонно подводят к вопросу о применении таких технологий для обеспечения управления в силовых структурах при выполнении специальных задач.

**Ключевые слова:** беспроводная сеть, технология, архитектура, маршрутизация, топология сети.

Мясникова А.И.,  
Северо-Кавказский филиал  
Московского технического университета  
связи и информатики

## Possibilities of application of wireless mesh-networks on networks of a special purpose

Myasnikova A.I.,  
North Caucasian branch of the Moscow  
technical university of communication  
and informatics

### Abstract

One of the main principles of creation of a mesh-network is the principle of self-organization of the architecture, providing such opportunities, as network topology implementation "everyone with everyone"; stability of a network in case of a failure of separate components; scalability of a network; dynamic routing of traffic; network condition monitoring, etc. Mesh-technology becomes especially necessary in the absence of wire infrastructure for connection of stations. These merits steadily bring to a question of application of such technologies for control support in power structures in case of execution of special tasks.

**Keywords:** wireless network, technology, architecture, routing, network topology.

Перспективный класс широкополосных беспроводных сетей передачи мультимедийной информации – mesh-сети, которые являются одним из направлений развития технологии Wi-Fi [1] и описываются в стандарте IEEE 802.11s [2]. Одним из главных принципов построения mesh-сети является принцип самоорганизации архитектуры, обеспечивающий такие возможности, как реализацию топологии сети "каждый с каждым"; устойчивость сети при отказе отдельных компонентов; масштабируемость сети; динамическую маршрутизацию трафика; контроль состояния сети и т.д. Mesh-технология становится особенно необходимой при отсутствии проводной инфраструктуры для соединения станций.

Эти положительные качества неуклонно подводят к вопросу о применении таких технологий для обеспечения управления в силовых структурах при выполнении специальных задач. Благодаря низким ценам на оборудование Wi-Fi, а также легкости в установке, возможно его массовое применение и в организациях специального назначения. Границу автоматизации, как общепринятого способа повышения эффективности функционирования любой системы, можно довести до отдельного сотрудника. Такой процесс давно происходит в армиях и организациях специального назначения ведущих государств мира, в частности в США. В комплект оснащения для каждого сотрудника могут входить вычислительный комплекс, набор датчиков, видео- и инфракрасные камеры, шлем со встроенным монитором, отображающим цифровую карту и местонахождение своих и чужих подразделений, и устройство беспроводной связи. Технология передачи мультимедийных данных в условиях единого инфор-

мационного пространства мест проведения операций должна функционировать по особым правилам.

Остановившись на mesh-сетях IEEE 802.11s [2], необходимо отметить, что данная спецификация рекомендует применять станции (узлы), содержащие несколько радиointерфейсов. Это позволяет одновременно использовать несколько частотных каналов для передачи информации. Общась с каждым из своих соседей, узел использует конкретный интерфейс (интерфейсы). Каждый интерфейс использует определенный канал. Механизмы назначения каналов (и другие механизмы функционирования) влияют на производительность сети, которая к тому же зависит от особенностей трафика. В системах управления специального назначения особенности трафика проявляются в его направлении, приоритетах, пульсации и др. С достаточной степенью достоверности можно предположить, что преобладающим трафиком будет вертикальный.

Остановившись на mesh-сетях IEEE 802.11s [3], необходимо отметить, что данная спецификация рекомендует применять станции (узлы), содержащие несколько радиointерфейсов. Это позволяет одновременно использовать несколько частотных каналов для передачи информации. Общась с каждым из своих соседей, узел использует конкретный интерфейс (интерфейсы). Каждый интерфейс использует определенный канал. Механизмы назначения каналов (и другие механизмы функционирования) влияют на производительность сети, которая к тому же зависит от особенностей трафика. В системах управления специального назначения особенности трафика проявляются в его направлении, приоритетах, пульсации и



др. С достаточной степенью достоверности можно предположить, что преобладающим трафиком будет вертикальный. Для такого случая целесообразно использовать один из наиболее известных алгоритмов назначения каналов в сетях IEEE 802.11s – алгоритм Hyacinth с централизованным способом назначения каналов [3, 4]. Рассмотрим типичную mesh-сеть, в которой каждый из узлов может одновременно работать как точка доступа, так и в качестве mesh-станции [3]. Некоторые устройства могут быть еще и шлюзами во внешнюю сеть. Каждое из mesh-устройств содержит в себе несколько радиоинтерфейсов, каждый из которых настроен на определенный канал на относительно долгое время (минуты, часы, дни). Задача назначения предполагает определить, во-первых, с помощью какого интерфейса узел общается с каждым из своих соседей, а во-вторых, какой канал использует каждый из интерфейсов. Предполагается, что каждый узел имеет соединение со всеми станциями, находящимися в его области устойчивого приема. Стоит заметить, что алгоритм маршрутизации зависит от пропускной способности каждого соединения, которые, в свою очередь, зависят от способа назначения каналов, а способ назначения каналов зависит от ожидаемой нагрузки на соединение, которая зависит от маршрутизации. Таким образом, получается круговая зависимость. Для ее разрешения было решено начать с оценки ожидаемой нагрузки без учета пропускной способности (см. рис. 1), а затем итеративно повторять процесс назначения каналов и маршрутизации до момента, когда пропускные способности каждой из соединений будут максимально близки к предполагаемой нагрузке. Вначале на вход алгоритма назначения каналов поступает оценка нагрузки на соединения. Выходом является пропускная способность соединений.

Алгоритм маршрутизации использует их для вычисления путей, которые используются для вычисления ожидаемой нагрузки. Если в конце итерации оказалось, что ожидаемая нагрузка больше пропускной способности, то процесс повторяется и заканчивается, если дальнейшего улучшения не происходит. Алгоритм предлагает два способа начальной оценки ожидаемой нагрузки на соединения. Во-первых, можно предположить, что все станции в области интерференции равномерно разделяют

пропускную способность канала. Пропускная способность соединения  $I$  вычисляется, учитывая только число доступных каналов, пропускную способность отдельного канала и число соединений внутри области интерференции рассматриваемого соединения. Далее пропускные способности поступают на вход алгоритма маршрутизации, после чего на выходе будет ожидаемая нагрузка на соединения. Более точная оценка ожидаемой нагрузки на соединения вычисляется через такие параметры, как количество путей между узлами, количество путей между этими же узлами, проходящих через соединение  $I$  и ожидаемый трафик между узлами. Соединения рассматриваются в порядке убывания ожидаемой на них нагрузки. При рассмотрении соединения канал назначается следующим образом (в предположении, что у каждого узла  $q$  интерфейсов):

Если число использованных каналов обоих узлов соединения меньше  $q$ , то соединению назначается неиспользуемый канал с наименьшей степенью интерференции.

Если узел 1 использует  $q$  каналов, а узел 2

– меньше  $q$  каналов, то выбирается один из уже используемых каналов узла 1 с наименьшей степенью интерференции.

Пусть оба узла уже используют  $q$  каналов, т.е. все их интерфейсы задействованы. Если узлы используют общие каналы, то из них выбирается канал с минимальной степенью интерференции. Если общих каналов нет, то выбирается по одному каналу от каждого из узлов, и они заменяются на общий канал так, чтобы степень интерференции была минимальна.

Под степенью интерференции понимается сумма ожидаемых нагрузок на соединения внутри области интерференции. Для вычисления пропускной способности соединения используется следующая формула:

$$Pr_{Sl} = \frac{\text{Ожидаемая нагрузка на соединение}}{\sum_{\text{соединения в области интерференции}} \text{ожидаемая нагрузка}} \times \text{проп. способность канала}$$

Алгоритм маршрутизации может быть использован любой. По сравнению с одноканальным решением, даже с использованием всего двух интерфейсов пропускная способность сети возрастает в 6-8 раз.

Алгоритм CoMTC, представленный в 2008 г., позволяет использовать сразу несколько путей для передачи данных от одной станции до другой. Сеть представляется в виде графа  $G(V,E)$ , где  $V$  – множество узлов (mesh-станций), а  $E$  – множество возможных соединений между этими узлами. Логически на каждом из узлов выделяется так называемый default-интерфейс (интерфейс по умолчанию). В дальнейшем, все интерфейсы, отличные от интерфейсов по умолчанию, будем называть non-default-интерфейсами. На первом этапе вся сеть разбивается на кластеры, затем происходит назначение каналов.

Для разбиения на кластеры используется следующая процедура. На вход алгоритма поступает граф  $G(V,E)$  (причем каждый из узлов знает расстояние до шлюза), а также множество всех шлюзов. Изначально каждый из шлюзов назначается лидером своего кластера, а все узлы, подсоединенные к данному лидеру, автоматически становятся частью кластера. Из-за ограниченного числа шлюзов созданные кластеры могут быть слишком большими, поэтому процедура построения кластеров повторяется до тех пор, пока не будут получены кластеры нужных размеров. Для построения нового

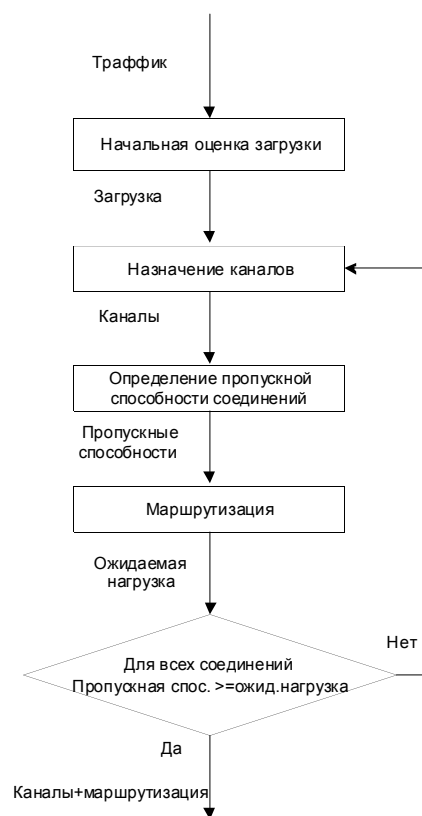


Рис. 1. Алгоритм C-Hyacinth

кластера узел, наиболее удаленный от лидера кластера, выбирается в качестве нового лидера кластера. Кластер строится вокруг вновь выбранного лидера из узлов, для которых расстояние до нового лидера меньше чем до текущего лидера.

Чтобы сохранить связность сети, внутри каждого кластера default-интерфейсу всех узлов, составляющих кластер, назначается один из каналов (default-канал). Для межкластерного взаимодействия пограничные узлы выделяют еще один интерфейс (им назначается default-канал соседнего кластера с наименьшим идентификатором).

Преимуществом такого разделения является минимизация числа узлов, которым необходимо делать рассылку широковещательных пакетов сразу с нескольких интерфейсов.

Далее алгоритм пытается построить множественные пути между узлами с задействованием non-default-интерфейсов. Для этого из изначального графа выделяется подграф такой, что для любых двух вершин оставлены только те пути между ними, "цена" которых не превосходит больше чем в  $t$  раз минимальной "цены" между этими узлами.

После того, как выбраны соседи для каждого из узлов, необходимо каждому соединению назначить интерфейсы на обеих станциях. Из-за того, что количество интерфейсов ограничено, при переключении какого-либо интерфейса на другой канал может потребоваться изменить каналы на цепочке станций, причем эта цепочка может достаточно большой. Для предотвращения таких ситуаций необходимо ввести следующие ограничения:

Non-default-интерфейс, связывающий узлы из разных кластеров, не должен быть использован для связи с узлами из того же самого кластера.

Non-default-интерфейс, служащий для связи с более близкими к лидеру кластера узлами, не должен быть использован для связи с узлами, находящимися дальше от лидера нежели, чем рассматриваемый узел.

Далее каждому из интерфейсов необходимо назначить канал. Процедуре назначения канала предшествует процесс установления степени интерференции с целью установления "цены" использования каждого из каналов и возможности выбора "наилучшего" канала. Предполагается, что лидер кластера обладает полной информацией об узлах своего кластера и их соседях.

Вначале назначаются каналы для default-интерфейсов каждого из кластеров. Один из интерфейсов, не являющийся default-интерфейсом, каждого из узлов сконфигурирован таким образом, что он периодически (каждые  $T_E$  единиц времени) слушает среду определенное время на каждом из каналов. Принятые таким образом пакеты служат для определения нагрузки на канал. Поскольку число принятых пакетов может быть низким из-за плохого состояния канала ввиду интерференции, то также используется параметр качества канала. Качество канала может быть вычислено на основе FER (frame error rate, вероятность потери кадра), силы принятого сигнала и т.п. Вся собранная узлами информация передается лидеру кластера. Загруженность и качество канала используется в качестве метрик для выбора наиболее подходящего канала для default-интерфейса.

Для назначения каналов для non-default-интерфейсов также необходимо учитывать интерференцию. Для этого предлагается использовать размер очереди узла (большой размер очереди говорит о большей степени интерференции). Периодически каждый из узлов передает информацию о канале и размере очереди лидеру кластера. Вначале происходит назначение граничных узлов, затем каналы назначаются в порядке удаления от лидера кластера.

Предложенная схема назначения каналов позволяет повысить производительность сети в два раза по сравнению со схемой D-Huacinih. Это объясняется прежде всего использованием множественных путей, а также уменьшением накладных расходов путем уменьшения числа

станций, которым необходимо делать широковещательные рассылки на всех своих радиоинтерфейсах.

Несмотря на большое количество предложенных механизмов, все они используют в качестве основы некоторые эвристики, поэтому нет уверенности в том, что назначение каналов является оптимальным, что оставляет большое пространство для дальнейшего исследования. Кроме того, механизмы назначения каналов несут универсальный характер без учета сценария использования mesh-сети, что приводит к высокой сложности алгоритма. Это, в свою очередь, влечет низкую эффективность при его реализации.

Необходимо добавить, что большинство работ по решению данной задачи направлено на разработку универсальных схем назначения каналов, что приводит к высокой сложности алгоритмов, усложняет их практическую реализацию и снижает их эффективность. Более эффективными являются подходы, ориентированные на конкретный сценарий использования mesh-сети.

## Литература

1. Легков К.Е. Методы повышения производительности беспроводных mesh-сетей специального назначения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – № 3, 2011. – С. 46-48.
2. Легков К.Е. Методы повышения канальной скорости в каналах сетей беспроводного широкополосного доступа // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – №6, 2011. – С. 39-41.
3. Легков К.Е. Беспроводные локальные сети IEEE 802.11: механизм распределения скоростей // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – №4, 2010. – С. 17-19.
4. Легков К.Е. Методы повышения производительности беспроводных mesh-сетей специального назначения // Телекоммуникации и транспорт. – №6, 2010. – С. 17-19.

# Исследования характеристик радиопокрытия и емкости сетей четвертого поколения

Немаловажным фактором успеха описываемой в статье технологии является наличие и разнообразие абонентских терминалов. Уже сейчас имеются производители абонентского оборудования LTE, причем производители чипсетов и терминалов TD-LTE имеются как в нише 3GSM, так и в нише WiMax. Ввиду схожести технологий WiMax и LTE для производителей WiMax не представит сложности создание двухрежимных терминалов WiMax/TD-LTE. Таким образом, имеются все предпосылки для создания единой экосистемы 3GSM-WiMax.

**Ключевые слова:** сотовая технология, абонентский терминал, беспроводный доступ, субканал, каналный ресурс.

**Божко Е.С., Малышко А.В.,**  
Московский технический университет  
связи и информатики

Все современные технологии беспроводной связи движутся в одном направлении – к системам на базе OFDM-MIMO и далее к системам 4-го поколения (или IMT-advanced в терминологии ИТУ).

У сотовых технологий одна четкая тенденция – миграция в сторону LTE, стандарта 3GPP (рис. 1). У систем широкополосного беспроводного доступа (ШБД), а WiMax – единственный представитель среди всех ШБД-технологий, входящих в семейство IMT-2000, – две альтернативы: мигрировать в сторону LTE или развиваться в направлении IEEE 802.16m.

Если сравнивать диапазоны частот WiMax и LTE, то можно заметить полное совпадение в диапазоне 2,3 ГГц и частичное в 2,5 ГГц; диапа-

зон 3,5 ГГц для FDD и TDD будет стандартизован в 3GPP Rel. 10. Таким образом, с точки зрения спектра имеются предпосылки миграции WiMax в сторону LTE.

Немаловажным фактором успеха новой технологии является наличие и разнообразие абонентских терминалов. Уже сейчас имеются производители абонентского оборудования LTE, причем производители чипсетов и терминалов TD-LTE имеются как в нише 3GSM, так и в нише WiMax. Ввиду схожести технологий WiMax и LTE для производителей WiMax не представит сложности создание двухрежимных терминалов WiMax/TD-LTE. Таким образом, имеются все предпосылки для создания единой экосистемы 3GSM-WiMax.

## Researches of radio covering characteristics and capacity of fourth generation networks

**Bozhko E.S., Malysheko A.V.,**  
Moscow technical university  
of communication and informatics

### Abstract

The important success factor of technology described in article is existence and variety of exchange service stations. Already now there are vendors of the subscriber equipment LTE, and vendors of chipsets and TD-LTE terminals are available both in 3GSM, and in the WiMax. In view of similarity of the WiMax and LTE technologies for vendors of the WiMax won't provide complexity creation of two-mode WiMax/TD-LTE terminals. Thus, there are all premises for creation of a uniform ecosystem of the 3GSM-WiMax.

**Keywords:** cellular technology, exchange service station, wireless access, subchannel, channel resource.

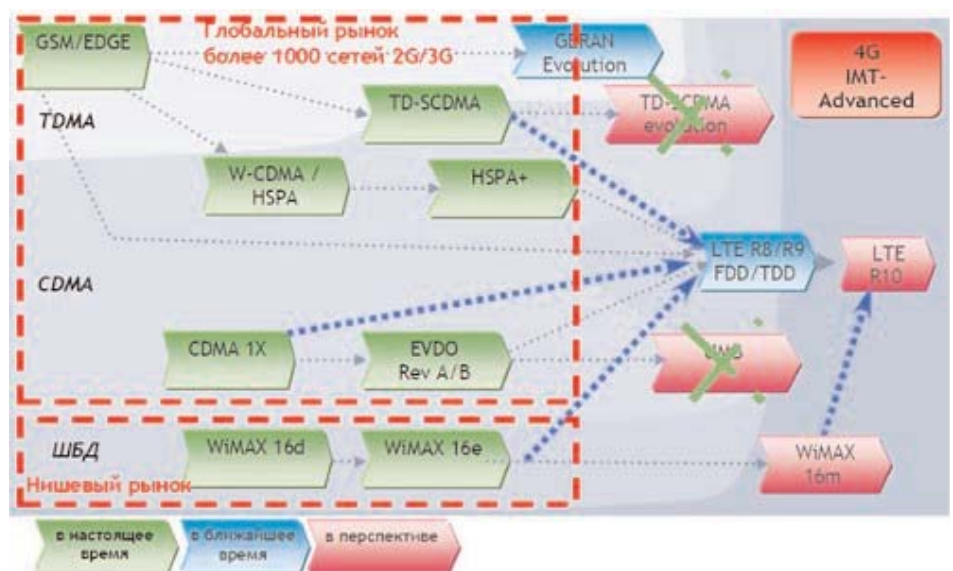


Рис. 1. Эволюция технологий сотовой связи



Таблица 1

Диапазон частот LTE 3GPP

Диапазон	Частоты, МГц	Обозначение	Примечание
33	1900 - 1920	TDD 2.1	Спектр UMTS TDD в Европе
34	2010 - 2025	TDD 2.1	Спектр TDD в Китае/ Спектр UMTS TDD в Европе
35	1850 - 1910		
36	1930 - 1990		
37	1910 - 1930	Между FDD-полосами PCS	
38	2570 - 2620	Между FDD-полосами IMT Extension	Фрагмент диапазона WiMAX 2,5 ГГц. В ряде стран проведены аукционы. Во многих странах планируются аукционы совместно с аукционами на частоты FDD
39	1880 - 1920		Спектр TDD в Китае
40	2300 - 2400		Китай / WiMAX 2,3 ГГц
41	3400-3600		Диапазон будет специфицирован в Rel 10. Соответствующий диапазон FDD – 20 (3410-3500 / 3510-3600)

**Ключевые особенности радиointерфейса WiMax 16e и LTE Rel.8**

Обе технологии базируются на одном и том же радиointерфейсе MIMO-OFDM, можно ли найти различие между ними? Для этого разберем поглубже принципы организации радиointерфейса.

**1. Многостанционный доступ**

На линии вниз технологии LTE и линиях вверх и вниз технологии WiMax используется OFDMA – многостанционный доступ на базе ортогонального частотного мультиплексирования (OFDM).

В LTE на линии вверх отказались от OFDM, поскольку при сложении множества ортогональных поднесущих формируется сигнал с большим пик-фактором. Для передачи такого сигнала без искажений требуется высоко линейный, а значит, дорогостоящий усилитель. Для упрощения терминалов было решено использовать технологию SC-FDMA – мультиплексирование на одной несущей. Сигнал SC-FDMA обладает меньшим пик-фактором, в результате чего усилитель может работать в более эффективном режиме и с более высоким КПД.



Рис. 2. Субканалы частотного канала WiMax

**2. Организация канальных ресурсов**

При использовании MIMO в технологии WiMax ресурсы выделяются пользователям слотами, формируемыми из поднесущих и символов OFDM; при этом применяется метод расстановки поднесущих PUSC (Partial Usage of Subcarriers). Поднесущие объединяются в субканалы (рис. 2), распределенные по всей несущей: на линии вниз 1 субканал = 24 поднесущие данных + 4 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 14,2%); на линии вверх 1 субканал = 16 поднесущих данных + 8 пилот-поднесущих (доля пилот-поднесущих 33,3%).

В LTE пользователям выделяются ресурсные блоки по 12 соседних поднесущих x 1 субкадр (рис. 3). 1 ресурсный блок = 12 поднесущих x 14 символов OFDM = 168 ресурсных элементов. Тот факт, что в пределах одного ресурсного блока, 180 кГц, поднесущие коррелированы, позволяет сократить количество пилот-поднесущих для оценивания канала на приемной стороне. На линии вниз в режиме MIMO 2x2 в каждом ресурсном блоке под пилоты резервируется 16 позиций из доступных 168 (доля

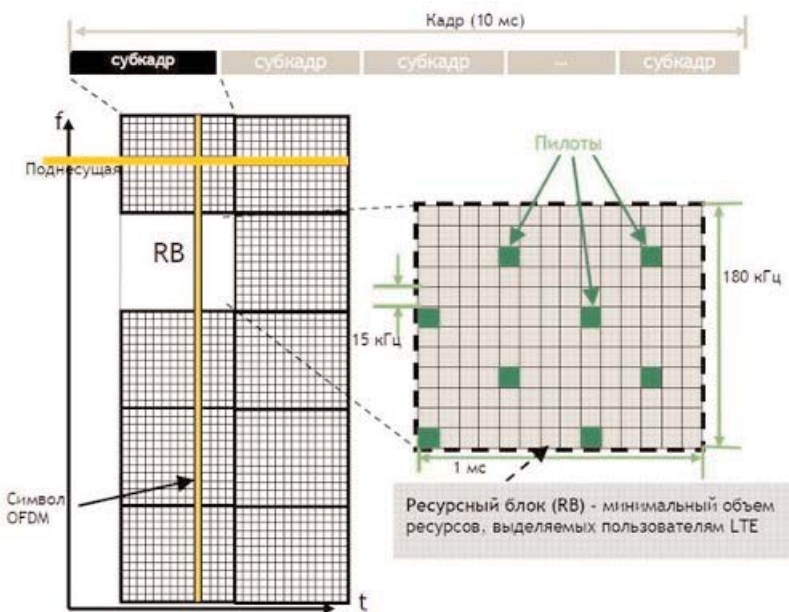


Рис. 3. Ресурсные блоки частотного канала LTE

пилотов – 9,5%). На линиях вверх и вниз размер ресурсного блока совпадает – 168 ресурсных элементов. На линии вверх под пилоты выделяются 36 позиций (доля пилотов – 21,4%). Таким образом, доля пилот-поднесущих в LTE в 1,5 раза меньше, чем в WiMax.

### 3. Диспетчеризация частотных ресурсов

В WiMax диспетчеризация ресурсов в частотной области осуществляется по принципу "frequency diversity scheduling", поднесущие, выделяемые пользователю, распределены по всему спектру канала. Делается это для рандомизации и усреднения влияния частотно-селективных замираний на широкополосный канал.

В LTE реализована другая техника борьбы с частотно-селективными замираниями: частотно-селективная диспетчеризация ресурсов "frequency selective scheduling". Для каждой абонентской станции UE (User Equipment) и каждого частотного блока несущей формируются индикаторы качества канала CQI (Channel Quality Indicator) (рис. 4).

В зависимости от требуемой для UE скорости передачи данных базовой станцией принимается решение о количестве ресурсных блоков, выделяемых тому или иному пользователю, а какие именно частотные блоки выделять пользователям зависит от CQI. Пользователям выделяются те ресурсные блоки, которые обладают наивысшим CQI, а значит, наилучшим отношением сигнал/шум. Такой способ распределения ресурсов между пользователями дает заметный энергетический выигрыш по сравнению с рандомизированной раздачей частотных ресурсов.

### 4. Гибридная процедура повторной передачи по запросу

В обеих системах используется процедура повторной передачи HARQ (Hybrid Automatic

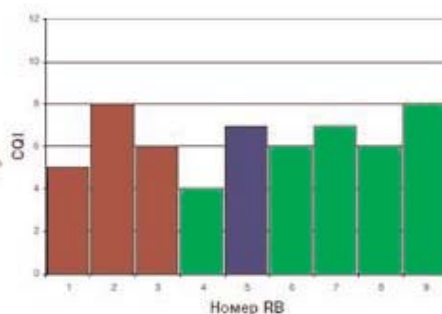
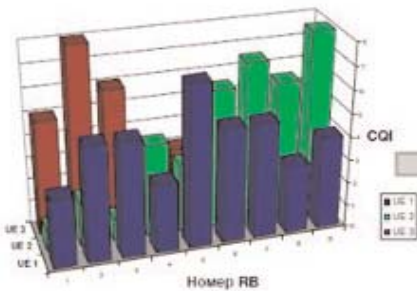


Рис. 4. Частотно-селективная диспетчеризация ресурсов LTE



Рис. 5. Процедура HARQ

Repeat reQuest) (рис. 5). Благодаря упрощенной архитектуре LTE (в радиосистеме WiMax, как правило, имеется контроллер базовых станций, а в LTE он отсутствует) сократилось время на обработку пакетов до 10 мс, против 30 мс в WiMax.

Кроме того, для объединения повторно переданных пакетов в этих технологиях используются разные процедуры: "Chase combining" – в WiMax и "Incremental redundancy" – в LTE. В процедуре "Chase combining" осуществляется простое повторение пакетов, а в приемном устройстве накапливается энергия при каждой повторной передаче. В процедуре "Incremental redundancy" при каждой последующей повторной передаче меняется шаблон выкалывания бит в процессе турбокодирования. В декодирующем устройстве при каждой последующей передаче увеличивается число проверочных бит в декодируемом пакете. Второй метод гораздо эффективнее и дает заметный энергетический выигрыш.

### 5. Адаптация системы к характеристикам канала

В современных системах радиодоступа можно максимально учесть условия распрост-

ранения радиоволн в канале связи и адаптироваться к ним путем выбора наиболее подходящей схемы модуляции и кодирования MCS (Modulation and Coding Scheme). Квадратурная амплитудная модуляция QPSK/16QAM/64QAM может комбинироваться с помехоустойчивым кодированием с различными скоростями.

В LTE доступны 29 схем MCS, выбирается та, которая в данных условиях распространения радиоволн обеспечивает максимальную пропускную способность. Точность настройки на канал в зависимости от отношения сигнал/шум составляет 1-2 дБ. При высоком отношении сигнал/шум может использоваться скорость кодирования, близкая к 1. В WiMax число схем MCS в несколько раз меньше, точность настройки на канал более грубая – 2-3 дБ.

### 6. Управление мощностью

В любой сотовой сети поддерживаются процедуры управления мощностью передатчиков абонентских станций для борьбы с замираниями и компенсации потерь на линии. В классическом алгоритме мощность излучения пользовательских сигналов должна устанавливаться такой, чтобы уровни сигналов различных пользователей поступали на вход приемника базовой станции с отношением сигнал/шум, равным некоторому пороговому значению. Именно такой алгоритм используется в WiMax.

В LTE применяется модифицированный алгоритм – частичное управление мощностью FPC (Fractional Power Control). Пороговое отношение сигнал/шум меняется для пользователей в зависимости от их положения внутри соты: чем ближе UE к базовой станции, тем выше порог отношения сигнал/шум как критерий

регулировки мощности. Следовательно, вблизи базовой станции UE работает с более высоким отношением сигнал/шум, с более высокой скоростью кодирования и кратностью модуляции, а значит, с более высокой спектральной эффективностью. Кроме того, работая с повышенной мощностью, UE может справляться с внутрисистемной интерференцией – подавлять соканальные помехи.

Кроме того, каждая базовая станция LTE контролирует уровень помех от соседних сот. Базовые станции периодически обмениваются индикаторами перегрузки OI (Overload Indicator), указывающими, в каком ресурсном блоке уровень помех превышает пороговое значение. Индикатор OI формируется по результатам измерения базовой станцией уровня помех и фонового шума для каждого частотного блока в соте. Параметры управления мощностью устанавливаются в зависимости от принятого OI: если для какого-либо блока указывается высокий уровень помех, то базовая станция передает команду снизить мощность UE, излучающего в данном ресурсном блоке (рис. 6).

7. Коэффициент переиспользования частот

Базовая схема переиспользования частот WiMax строится на трех частотных каналах. При трехсекторной конфигурации сайтов в каждом из секторов используется один из трех частотных каналов (рис. 7). Коэффициент переиспользования частот в данном случае равен 3.

Работа сети LTE осуществляется с коэффициентом переиспользования частот 1, т.е. все базовые станции работают на одной несущей. Внутрисистемные помехи в данной системе минимизируются благодаря частотно-селективной диспетчеризации, координации помех между сотами, гибкому частотному плану. На рис. 7, справа, показан один из вариантов гибкого частотного плана. Для пользователей в центре любой соты могут выделяться ресурсы из всей полосы канала (серая зона). Пользователям на краях сот выделяются ресурсы только из определенных поддиапазонов (указаны соответствующим цветом). Таким образом, в каждой соте известно, в каком поддиапазоне концентрируются помехи на ее границах. Положение UE, на краю соты или вблизи базовой станции, идентифицируется по периодическим отчетам UE об уровнях сигналов соседних сот (для поддержки хэндовера).

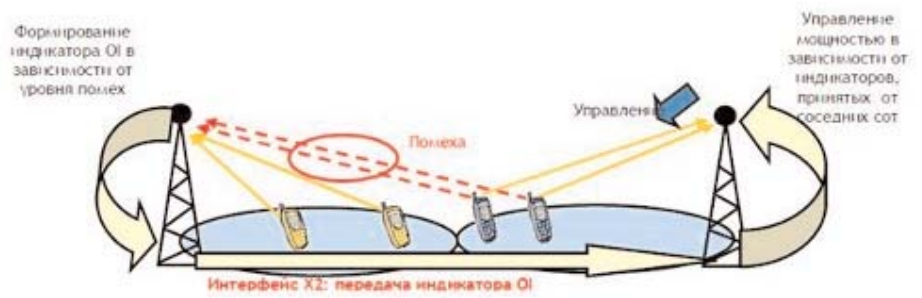


Рис. 6. Управление мощностью соседней базовой станции

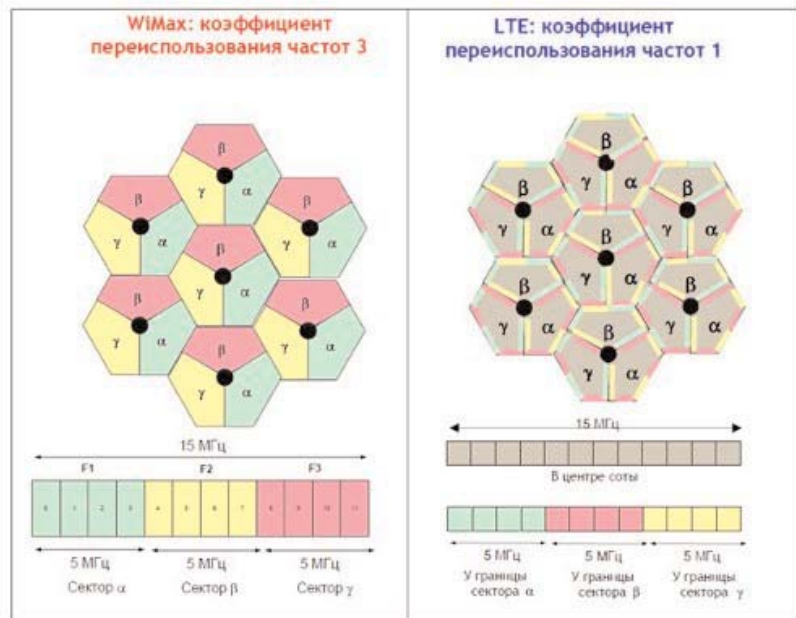


Рис. 7. Коэффициент переиспользования частот в сетях WiMAX и LTE

8. Схемы MIMO

Если в системе MIMO можно передать от приемника к передатчику информацию о характеристиках канала распространения радиоволн, то на передающей и приемной сторонах имеется возможность сформировать оптимальным образом пространственные каналы распространения отдельных сигнальных потоков таким образом, чтобы минимизировать их взаимную интерференцию, а это значительно повышает энергетический бюджет соединения.

Именно такой принцип заложен в LTE, где реализуется схема MIMO с обратной связью CL-MIMO (Closed Loop MIMO). В приемнике после оценивания канала выбирается соответствующая прекодирующая матрица, а номер оптимальной прекодирующей матрицы PMI (Precoding Matrix Indicator) посылается передатчику. Обратная связь в схеме MIMO WiMax не предусмотрена.

Различаются в этих системах схемы канального кодирования, предшествующего обработке MIMO. В WiMax – последовательное кодирование, а в LTE – параллельное (рис. 8). При параллельной схеме, входные данные демультиплексируются на два потока, каждый из которых в отдельности подвергается помехоустойчивому кодированию. Закодированные потоки подаются в схему MIMO. На приемной стороне осуществляются обратные операции, после снятия помехоустойчивого кода в обеих ветвях декодированные данные подаются обратно в приемник – обработчик MIMO: реализуется итерационный алгоритм совместной демодуляции MIMO и канального декодирования, позволяющий заметно улучшить работу приемника и снизить требуемое отношение сигнал/шум на входе приемника. Данный алгоритм называется алгоритмом последовательного исключения демодулированных компонент SIC



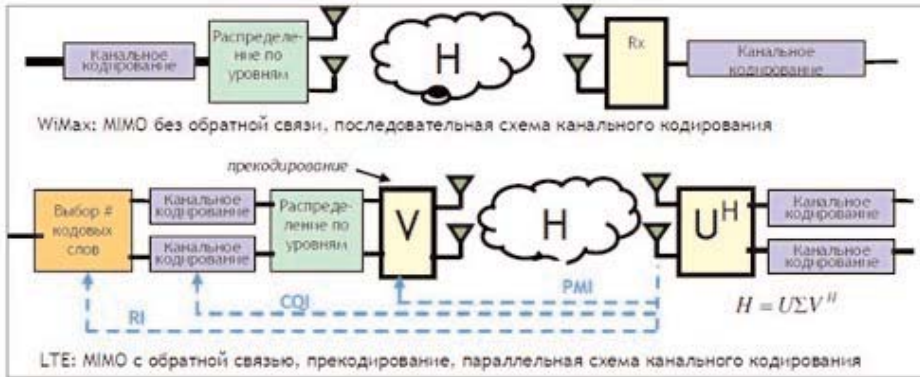


Рис. 8. Схемы MIMO в системах WiMax и LTE

Различия в радиointерфейсе WiMax 16e и LTE Rel.8

Таблица 2.

Характеристика	LTE	WiMax	Влияние на систему
Многостанционный доступ	OFDMA на DL, SC-FDMA на UL	OFDMA на DL и UL	SC-FDMA: снижается пик-фактор, упрощается терминал, повышается КПД
Диспетчеризация частотных ресурсов	Селективная	Рандомизированная	Частотная селективная диспетчеризация – дополнительный энергетический выигрыш
Заголовки/служебная информация	Сравнительно малые заголовки	Достаточно большие заголовки	Снижение заголовков повышает спектральную эффективность
Объединение пакетов в HARQ	Incremental redundancy	Chase combining	Дополнительный энергетический выигрыш при использовании Incremental redundancy
Задержка на обработку пакетов	10 мс	30 мс	Упрощенная архитектура сети LTE позволяет снизить задержку
Адаптация системы к каналу	Высокая точность (1-2 дБ)	Грубая настройка (2-3 дБ)	Адаптация системы с высокой точностью повышает спектральную эффективность
Управление мощностью	Частичное управление мощностью	Классический алгоритм	Частичное управление мощностью – компромисс между пропускной способностью на краю и в сумме по соте
Переиспользование частот	Коэффициент 1	Коэффициент 3	Меньше коэффициент, выше спектральная эффективность
Схемы MIMO	CL-MIMO, параллельное кодирование	MIMO без обратной связи, последовательное кодирование	Обратная связь, MIMO с прекодированием, приемник SIC – дополнительный энергетический выигрыш



Рис. 9. Конфигурация оборудования

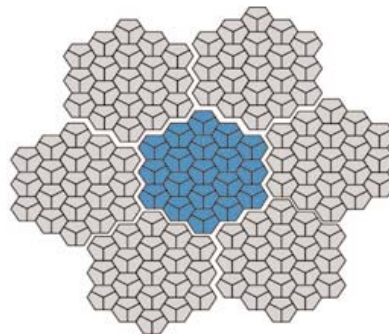


Рис. 10. Топология моделируемой сети

(Successive Interference Cancellation). При последовательном канальном кодировании, как в WiMax, этот алгоритм нереализуем. В табл. 2 приведены все описанные различия между двумя системами.

Оценка радиопокрытия

Теперь мы можем посмотреть, как различия в радиointерфейсе влияют на радиопокрытие. Анализ радиопокрытия для двух систем проводился для конфигурации оборудования, представленной на рис.9: трехсекторная распределенная базовая станция, абонентский терминал – компьютер (карта PCMCIA). Исходные данные для сравнения приведены в табл. 3.

Анализ радиопокрытия начинают с вычисления энергетического бюджета или максимально допустимых потерь на линии MAPL (Maximum Allowable Path Loss). Как для LTE, так и для WiMax (из-за большого дисбаланса мощности передатчиков UE и базовой станции ~20 дБ) ограничивающей линией по дальности связи в большинстве случаев является линия вверх, поэтому расчет MAPL выполнен для линии вверх. Энергетический бюджет рассчитывается для UE на краю соты и излучающего сигнал на максимальной мощности. Результаты расчета приведены в табл. 4.

MAPL в системе LTE на 5,6 дБ больше по сравнению с системой WiMax, то есть LTE обеспечивает лучшее радиопокрытие.

Оценка емкости

Анализ пропускной способности соты проводился путем статистического моделирования в три этапа.

1. Моделирование канального уровня – получение зависимости пропускной способности базовой/абонентской станции от отношения сигнал/шум на входе приемника.

2. Моделирование системного уровня по методу Монте-Карло – получение функции распределения вероятности отношения сигнал/шум в соте, учитывающего мощность помех от соседних сот.

3. Вычисление средней пропускной способности соты путем интегрирования характеристики канального уровня по плотности распределения отношения сигнал/шум в соте.

В табл. 5 представлены результаты вычисления средней пропускной способности в сети, по конфигурации близкой к полученной нами в процессе радиопланирования в предыдущем разделе, специфицируемой NGMN как сценарий 1: расстояние между сайтами – 500 м, в среднем – 10 активных пользователей в соте, потери на проникновение в здание – 20 дБ, характеристики оцениваются для кластера из 19 3-секторных сайтов, имитируются 6 окружающих зеркальных кластеров для учета помех в ганичных сотах (рис. 10).

По результатам проведенного сравнения в таблице 5 можно сделать вывод, что пропускная способность соты LTE на линиях вниз и вверх выше, чем пропускная способность WiMAX.

### Выводы

Таким образом, исходя из результатов проведенного анализа двух широкополосных стандартов 4 поколения можно сделать вывод о том, что характеристики радиопокрытия и емкости сети LTE значительно выше характеристик WiMAX.

### Литература

1. Stefania Sesia, Issam Toufik, Matthew Baker. LTE – The UMTS Long Term Evolution. From Theory to Practice. – John Wiley & Sons Ltd, 2009. – 611 с.
2. Jeffrey G.A. Fundamentals of WiMax: Understanding Broadband Wireless Networking. – Pearson Education, Inc., 2007. – 449 с.
3. Легков К.Е., Донченко А.А., Садовов В.В. Современные технологии беспроводного широкополосного доступа 802.16e и LTE: перспективы внедрения на транспорте // Т-Сотм: Телекоммуникации и транспорт, 2010. – №2. – С. 30-33.
4. Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б. Сети мобильной связи LTE: технологии и архитектура. – М.: Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
5. Варукина Л.А. Координация помех в сетях LTE // Радиочастотный спектр, 2010. – №2. – С. 30-33.
6. Варукина Л.А. Технология MIMO в системах LTE // Электросвязь, 2009. – №11. – С. 52-55.

Таблица 3

Исходные данные для сравнения систем LTE и WiMax

Параметр	LTE	WiMax
Стандарт	3GPP Release 8	IEEE 802.16e
Дуплекс	TDD	TDD
Диапазон частот	2,3 ГГц	2,3 ГГц
Соотношение TDD, DL/UL	1:1	3:2
Системная полоса	15 МГц	15 МГц
Переиспользование частот	1	3
Число секторов BTS	3	3
Полоса на сектор	15 МГц	5 МГц
Схема MIMO на линии вниз	2x2	2x2
Схема MIMO на линии вверх	Разнесенный прием	Разнесенный прием
Высота антенны базовой станции	25 м	25 м
Высота UE	1,5 м	1,5 м
Сервис	Передача данных	Передача данных

Таблица 4

Энергетический бюджет для условий средней городской застройки (UR)

Параметр	LTE	WiMax	Примечание
Скорость передачи данных, гарантируемая на краю соты	144 кбит/с	144 кбит/с	На краю соты обычно не гарантируют высокой пропускной способности
Число ресурсных блоков/субканалов	3 ресурсных блока	3 субканалов PUSC	Среднее количество передач в HARQ: 1,5 – в LTE; 2 – в WiMax
Используемая полоса	540 кГц	1313 кГц	
Модуляция и кодирование	QPSK 0,66	QPSK 0,5	Используется MCS с высокой помехоустойчивостью
Отношение С/Ш в приемнике	2,3 дБ	4,0 дБ	Зависит от алгоритмов цифровой обработки сигналов
Коэффициент шума приемника	2,5 дБ	2,5 дБ	Зависит от характеристик входных РЧ-цепей
Чувствительность приемника	-111,9 дБм	-106,3 дБм	Разница из-за различий в полосе принимаемого сигнала и отношении сигнал/шум
Усиление антенны	18,0 дБи	18,0 дБи	
Потери в фидерном тракте	0,5 дБ	0,5 дБ	
Вероятность радиопокрытия	95%	95%	
Стандартная двенадцатипотерь на затенение	8,0 дБ	8,0 дБ	
Запас на затенение	8,7 дБ	8,7 дБ	
Выигрыш от хэндовера	3,6 дБ	3,6 дБ	
Потери на проникновение в помещение	17 дБ	17 дБ	Зависит от типа застройки: DU – 20 дБ; UR – 17 дБ; SU – 14 дБ; RU – 8 дБ
Запас на помехи ЭИИМ UE	23,0 дБм	23,0 дБм	
MAPL	127,4 дБ	121,8 дБ	Из-за разницы в чувствительности приемников
Радиус соты в городе (UR)	0,56 км	0,39 км	Используется модель распространения радиоволн COST231-HATA

Таблица 5

Средняя пропускная способность соты

Параметр	LTE/ 3GPP Rel.8	WiMAX/ IEEE 802.16e
Конфигурация сети	15 МГц, коэф. переисп. частот 1, ширина канала в секторе 15 МГц, соотношение TDD 1:1, MIMO 2x2	15 МГц, коэф. переисп. частот 3, ширина канала в секторе 5 МГц, соотношение TDD 3:2, MIMO 2x2
Средняя пропускная способность соты на линии вниз	11,8 Мбит/с (типовая – 60 Мбит/с)	5 Мбит/с (типовая – 13,5 Мбит/с)
Средняя пропускная способность соты на линии вверх	4,8 Мбит/с (типовая – 20 Мбит/с)	1,5 Мбит/с (типовая – 5 Мбит/с)



# К вопросу управления рисками при обеспечении безопасности инфокоммуникационных сетей специального назначения

*Рассматриваются вопросы организации оперативного управления безопасностью современных инфокоммуникационных сетей военного назначения в части управления рисками информационной безопасности с учетом функционирования служб безопасности и в рамках эффективной архитектуры систем обеспечения безопасности.*

**Ключевые слова:** безопасность, инфокоммуникационная сеть, инциденты, политика безопасности, риски, управление.

Буренин А.Н., Легков К.Е.,  
ФГУП "НИИ "РУБИН"

## Risk management in case of safety of special purpose infocommunication networks

Burenin A.N., Legkov K.E.,  
The Federal State Unitary Enterprise  
"Scientific Research Institute "Rubin"

### Abstract

In operation questions of the organization of operational management by safety of the modern military infocommunication networks regarding risk management of information security taking into account functioning of security polices and within effective architecture of systems of safety are considered.

**Keywords:** safety, infocommunication network, incidents, trust relationships policy, risks, control.

Функционирование инфокоммуникационных сетей военного назначения (ИКС ВН), предназначенных для обеспечения работы систем управления, предназначенных для нужд обороны государства, с высокими показателями по эффективности в условиях информационного противодействия и достаточно жестких требований, предъявляемых к ним со стороны различных пользователей ВС РФ, возможно только при решении целого комплекса задач обеспечения информационной безопасности. Решающая роль в этом отводится должностным лицам, отвечающим за информационную безопасность, поддерживаемых специальным программным обеспечением комплексов технических средств обеспечения безопасности [1-3].

Однако, постоянно возрастающая сложность сетей, входящих в состав ИКС ВН (объектовые сети, сети доступа, транспортная сеть, сети услуг прикладного уровня, сеть управления), и реализуемых в них механизмов защиты информации, увеличение количества уязвимостей, связанных с применением стандартных, широко используемых протоколов и готового программного обеспечения, потенциальных ошибок в программном обеспечении используемых средств телекоммуникаций, средств предоставления услуг связи и управления, а также возросшие возможности нарушителей и противника по реализации различного рода информационных воздействий, обуславливают необходимость разработки достаточно сложных автоматизированных комплексов обеспечения безопасности (включая задачи управления безопасностью), в состав которых входят

мощные адаптивные программные средства обнаружения и анализа этих атак. Такие комплексы способны не только контролировать работоспособность средств защиты информации в каждой сети ИКС ВН, но и могут существенно повысить защищенность элементов самой ИКС ВН от информационных воздействий, существующих ошибок в конфигурировании отдельной сети, способствовать выявлению возможных трасс атакующих действий различных категорий нарушителей и противника (при реализации ими угроз безопасности), определению критичных сетевых ресурсов, защиту которых следует усилить.

При решении множества задач обеспечения информационной безопасности ИКС ВН целесообразно использовать понятия моделей: атак, нарушителя, объекта атак (ИКС ВН), а также графа атак [4].

Традиционные методы защиты сетей в большей мере ориентированы на защиту от конкретных (известных или прогнозируемых) видов угроз. Они реализуются в виде набора программных и аппаратных компонентов, функционирующих относительно независимо друг от друга.

Существующие системы защиты обычно имеют централизованную структуру, характеризуются неразвитыми адаптивными возможностями, пассивными механизмами обнаружения атак, большим процентом ложных срабатываний при обнаружении вторжений, значительной деградацией трафика из-за большого объема ресурсов, выделяемых на защиту и т.п.



Поэтому в последние годы решение этих задач в рамках создаваемых ИКС ВН возлагается на автоматизированные управляемые комплексы, позволяющие существенно повысить эффективность их защиты, в том числе адекватность, отказоустойчивость, устойчивость к деструктивным действиям, универсальность, гибкость ИКС ВН и т.д. [4]

В соответствии с этим, требуется, чтобы компоненты систем защиты информации в ИКС ВН, ориентированные на определенные типы задач, управлялись, действовали по единому плану, тесно взаимодействуя друг с другом с целью обмена информацией и принятия согласованных решений, были способны к адаптации к изменению трафика, а также к реконфигурации аппаратного и программного обеспечения в соответствии с новыми видами воздействий.

Так как информационные воздействия нарушителя и противника на элементы ИКС ВН могут происходить в произвольные случайные моменты времени, интервалы между воздействиями также в общем случае являются случайными величинами, то последовательность информационных воздействий может быть математически описана моделью стохастического потока атак. Наиболее общим видом потока, которым можно описать поток воздействий на ИКС ВН, является рекуррентный поток, характерный тем, что интервалы времени между двумя информационными воздействиями независимы и имеют одинаковые произвольные функции распределения  $F(t)$ , однако в отдельных случаях в качестве модели реального потока атак

целесообразно взять поток Бернулли [4].

Важную роль при обеспечении сетевой безопасности в ИКС ВН играют задачи управления ИБ, решение которых осуществляется в рамках системы встроенных механизмов и функциональных служб ИБ. Стандарты ISO по управлению безопасностью (ISO 7498-2, ISO 10164-7, 10164-8, 10164-9, ISO/IEC 17799:2000 и др.) и рекомендации МСЭ-Т (X.800, M.3016.0 – M.3016.4, Y.2701 и др.), представляют ряд требований для архитектуры безопасности, механизмов ее обеспечения, завершений проверки безопасности, включая тревожную сигнализацию, анализ выбора объектов и фактов нарушений, обнаружение события и ведение журнала этих операций, услуги управления журналами регистрации завершения проверки и распределения сигнализации и т.д. Они предусматривают включение в состав прикладных процессов служб восьми "механизмов безопасности", рис. 1.

В целом функциональная архитектура подсистемы управления безопасностью ИКС ВН включает различные многофункциональные программно-аппаратные средства, выполняющие функции управления: службами подсистемы и средствами защиты, рисками, инцидентами, политиками безопасности, восстановлением функционирования сети после воздействий и атак на нее; осуществляющие аудит безопасности и тестирование сети, поддержку принятия обоснованных решений должностными лицами по безопасности, а также имитационное моделирование последствий атак и вмешательств потенциальных нарушителей [5].

Архитектура подсистемы управления сетевой безопасностью включает управляющие и управляемые элементы и строится по схемам "агент-менеджер" и "клиент-сервер", рис. 2.

Агенты безопасности в элементах ИКС ВН представляют собой программы, размещаемые на оконечном устройстве (клиенте, сервере, шлюзе) каждой телекоммуникационной сети ИКС ВН и выполняющую основные функции защиты в нем.

В процессе функционирования ИКС ВН необходимо осуществление регулярного аудита и постоянного мониторинга безопасности сетей.

В настоящее время актуальность аудита безопасности сетей СН резко возросла. Это связано с тем, что возросла их уязвимость за счет повышения сложности сетевых элементов, появления новых технологий передачи и хранения данных, увеличения сложности, функциональности и объема программного обеспечения, а также за счет значительного расширения спектра угроз из-за активного использования зарубежных телекоммуникационных технологий и сервисов открытых глобальных сетей для передачи сообщений и транзакций [6, 7].

Аудит безопасности ИКС ВН дает возможность ДЛ СУ ИКС ВН получить ответы на вопросы:

- как оптимально использовать существующие сети ИКС ВН;
- как решаются вопросы безопасности и контроля доступа в ИКС ВН;
- как установить единую систему управления и мониторинга ИКС ВН;

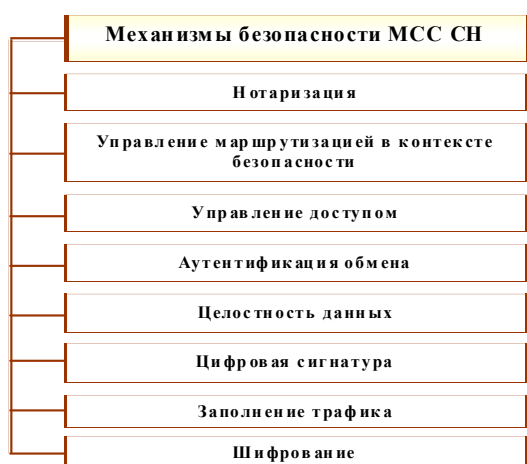


Рис. 1. Встроенные механизмы безопасности



Рис. 2. Архитектура подсистемы управления ИБ ИКС ВН

— когда и как необходимо провести модернизацию оборудования и программного обеспечения;

— как минимизировать риски при передаче и размещении конфиденциальной информации в сетях ИКС ВН, а также наметить пути решения обнаруженных проблем.

Используемые методы анализа данных определяются выбранными подходами к проведению аудита, которые могут существенно различаться. Наиболее эффективный подход предполагает, что базовый набор требований безопасности, предъявляемых к ИКС ВН, определяется стандартом. Дополнительные требования, в максимальной степени учитывающие особенности функционирования данной ИКС ВН, формируются на основе анализа рисков.

Анализ рисков – это то, с чего должно начинаться построение любой системы обеспечения безопасности и управления ею. Он включает в себя мероприятия по обследованию безопасности ИКС ВН, с целью определения того какие ресурсы и от каких угроз надо защищать, а также в какой степени те или иные ресурсы ИКС ВН нуждаются в защите.

Определение набора адекватных контрмер осуществляется в ходе управления рисками. Риск определяется вероятностью причинения ущерба и величиной ущерба, наносимого ресурсам ИКС ВН, в случае осуществления угрозы безопасности. Анализ рисков состоит в том, чтобы выявить существующие риски и оценить их величину (дать им качественную, а лучше количественную оценку). Процесс анализа рисков можно разделить на несколько последовательных этапов:

- идентификация ключевых ресурсов ИКС ВН;
- определение важности тех или иных ресурсов ИКС ВН;
- идентификация существующих угроз безопасности и уязвимостей, делающих возможным осуществление угроз;
- вычисление рисков, связанных с осуществлением угроз безопасности ИКС ВН.

Ресурсы ИКС ВН можно разделить на следующие категории:

- информационные ресурсы;
- программное обеспечение;
- технические средства (серверы, рабочие станции, активное сетевое оборудование и т.п.).

Ущерб может быть нанесен в результате успешного осуществления следующих видов угроз безопасности:

- локальные и удаленные атаки на ресурсы ИКС ВН;
- аварийные ситуации;
- ошибки, либо умышленные действия обслуживающего персонала ИКС ВН;
- сбои в работе сетей ИКС ВН, вызванные ошибками в программном обеспечении (в т.ч. закладки в ПО) или неисправностями аппаратуры.

Естественно, что для целей управления рисками необходимо как-то количественно оценить уязвимость ИКС ВН. Так, в качестве показателя уязвимости ИКС ВН можно взять обратную величину относительного числа незащищенных или недостаточно защищенных элементов, обеспечивающих некоторый ее ресурс, взвешенную в соответствии с критичностью каждого элемента ИКС ВН.

Тогда величину риска  $Risk_k$  можно определить на основе условной стоимости ресурса  $C_{ур}^i$  уровня критичности ресурса  $\zeta_j$  вероятности осуществления угрозы на ресурс  $P_{угр}^i$  и величины уязвимости  $V_{sk}^i$  по следующей формуле:

$$Risk_k = \frac{1}{N_c} \sum_i^{N_c} \sum_j^D \frac{\zeta_j C_{ур}^i P_{угр}^i}{V_{sk}^i} \quad (1)$$

Значения величин рисков (1) сравниваются с допустимым значением

$$Risk_k \leq R_{кр} \quad (2)$$

Получив результаты анализа рисков, при невыполнении условия (2), переходят к задаче управления рисками, которая заключается в

выборе обоснованного набора контрмер, позволяющих снизить уровни рисков до приемлемой величины. Стоимость реализации контрмер должна быть меньше величины возможного ущерба. Разница между стоимостью реализации контрмер и величиной возможного ущерба должна быть обратно пропорциональна вероятности его причинения.

Оценка рисков может осуществляться с использованием различных как качественных, так и количественных шкал. Главное, чтобы существующие риски были правильно идентифицированы и проранжированы в соответствии со степенью их критичности. На основе такого анализа разрабатывается система первоочередных мероприятий по уменьшению величины рисков до приемлемого уровня.

### Литература

1. Закон РФ "О связи". Ред. 2007 г.
2. Зима В.М., Молдовян А.А., Молдовян Н.А. Безопасность глобальных сетевых технологий. — СПб.: СПбГУ, 1999. — 253 с.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети. — СПб.: Питер, 2002. — 736 с.
4. Буренин А.Н., Курносов В.И. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями. Под ред. д-ра техн. наук, проф. В.И. Курносова. — М.: Наука, 2011. — 464 с.
5. Буренин А.Н., Винниченко А.В. Проблемы управления информационной безопасностью в процессе функционирования систем управления телекоммуникационными сетями специального назначения // Телекоммуникационные технологии, С-Пб, 2006. вып 2. — С. 77-82.
6. Суханов А. Анализ рисков в управлении информационной безопасностью // Byte, 2008. — №11. — С. 18-23.
7. Практика управления информационной безопасностью // Executive Guide. Information Security Management. Learning From Leading Organizations. Ежегодный отчет Главного Счетного Управления США (GAO). U.S. 2007.

# Управление инфокоммуникационными услугами в мультисервисных сетях специального назначения

*Система связи специального назначения является стационарной инфокоммуникационной системой связи и содержит следующие функциональные элементы: первичную сеть связи; транспортную IP-сеть; интегрированную вторичную сеть связи; автоматизированную систему управления связью; систему именования и адресования; систему комплексной безопасности связи и защиты информации; систему технического обеспечения связи. В статье рассмотрен вопрос управления инфокоммуникационными услугами функциональных элементов мультисервисной сети специального назначения.*

**Ключевые слова:** услуга, сеть связи, транспортная сеть, управление услугами, канал передачи.

Легков К.Е., Мясникова А.И.,  
Военно-космическая академия  
имени А.Ф.Можайского

## Control of the infocommunication services on special purpose multiservice networks

Legkov K.E., Myasnikova A.I.,  
Military space academy  
of a name of A.F.Mozhaysky

### Abstract

The communication system of a special purpose is a stationary infocommunication communication system and contains the following functional elements: primary communication network; transport IP network; the integrated secondary communication network; automated control system for communication; naming and addressing system; system of complex safety of communication and information security; system of technical supply of communication. In article the question of control is considered by infocommunication services of the functional elements of a multiservice network of a special purpose.

**Keywords:** service, communication network, transport network, control of services, transmission channel.

Переход на новые принципы построения пунктов управления органов государственной власти, вызывают необходимость обеспечения устойчивости, непрерывности и оперативности управления, а также расширения перечня предоставляемых инфокоммуникационных услуг и повышения их качества. Система связи специального назначения (СССН) предназначена для обеспечения своевременного, достоверного и безопасного информационного обмена между территориальными органами власти и органами управления министерств и ведомств при совместном решении задач в различных условиях обстановки. Использование современных аппаратно-программных комплексов отечественной разработки призвано обеспечить высокую надежность и безопасность функционирования СССР, возможность сопряжения с оборудованием существующих сетей связи министерств и ведомств, а также с оборудованием операторов связи ЕЭС России [1]. Система связи специального назначения является стационарной инфокоммуникационной системой связи и содержит следующие функциональные элементы: первичную сеть связи; транспортную IP-сеть; интегрированную вторичную сеть связи; автоматизированную систему управления связью; систему именования и адресования; систему комплексной безопасности связи и защиты информации; систему технического обеспечения связи.

В соответствии с проектом AMS (Advanced Multimedia System), являющейся дальнейшим этапом развития телекоммуникационной отрасли, предполагается принцип декомпозиции

инфокоммуникационной системы применительно к терминальному оборудованию, согласно которой пользователь имеет персональное терминальное устройство, называемое контейнером (container) [2]. Совокупность контейнера и зарегистрированных в нем приложений называется AMS Assemblage - сборка AMS, конфигурация которой и определяет, какие услуги доступны пользователю устройства контейнера [2].

По своей сути, AMS базируется на NGN и является дальнейшим ее развитием. Основным отличием AMS является то, что для организации соединения используется универсальный протокол сигнализации на основе XML и универсальные кодеки, что позволит отказаться от множества протоколов, используемых в настоящее время.

Несмотря на недостатки, присущие языку XML, он способен произвести важные изменения в области сигнализации, так как обладает целым рядом достоинств: свойство расширяемости, что позволяет добавлять новые возможности в предоставление телекоммуникационных услуг, например, функции записи отдельных разговоров в аудиоконференции; строгий формат, основанный на международных стандартах, сводящий до минимума несовместимость отдельных реализаций; наличие реализаций синтаксических анализаторов для всех современных языков программирования.

Основной идеей, положенной в основу AMS является использование стандартных программных интерфейсов для инфокоммуникационных систем различного назначения.



Стандартом в данной области служит обобщенная модель среды открытой информационной системы – OSE/RM (Open System Environment/Reference Modell) ISO/IEC TR 14252 «Information technology – Guide to the POSIX® Open System Environment (OSE)», (POSIX - Portable Operating System Interface for Computer Environments), как расширение модели OSI/ISO [3] с детализацией прикладного уровня (рис. 1). Цель стандарта состоит в том, чтобы обеспечить возможность решения проблемы переносимости прикладных программ между различными компьютерными платформами на основе стандартизации прикладных программных интерфейсов (API) операционных систем (ОС). Платформа описывает два класса служб – службы OSE и службы ИТ, разделенные на четыре основных категории: системные или программные сервисы (System Services); коммуникационные сервисы (Communication Services); информационные сервисы (Information Services); человеко-машинного взаимодействия (Human/Computer Services). Службы интерфейса «человек-компьютер» связаны с службами ИТ: графический интерфейс пользователя (GUIs); формы; команды. Системные службы связаны со службами ИТ: системное администрирование; службы реального времени; печать; языки программирования; графические службы; службы/среда разработки ПО. Информационные службы связаны со службами ИТ: доступ к данным; форматы данных; СУБД; словари данных; обработка транзакций; обмен данными. Коммуникационные службы связаны со службами ИТ: LAN, WAN; сетевое управление; доступ к удаленной БД; распределенные службы; электронная почта; авторизация; физическое соединение.

Концепция модели OSE/RM основана на разделении среды информационной системы на приложения ASE (Application Software Entity), платформу APE (Application Platform Entity), внешнее окружение EEE (External Environment Entity) и выделении стандартных интерфейсов между ними. На рисунке выделена плоскость приложений (U (User) – пользователь, S (System) – система, I (Information) – информация, данные, C (Communication) – коммуникации, связанная через API (Application Programming Interface) интерфейс прикладного программирования с плоскостью платформы, которая в свою очередь связана с внешней средой через EEI (External Environment Interface).

Цифрами обозначены интерфейсы: API1- взаимодействия «человек-компьютер»; API2- системных служб; API3 – информационных служб; API4 – коммуникационных служб. Внешние интерфейсы: EEI1 – взаимодействия «человек-компьютер»; EEI2 – информационных служб; EEI3– коммуникационных служб. Фактически управление услугами сводится к управлению приложениями, а предоставление услуг становится аналогом web-сервисов, предоставляемых в сети Интернет по принципу «клиент-сервер». Несмотря на это, разработка системы управления (СУ) услугами требует решения целого спектра инженерных задач, позволяющих произвести расчет ее характеристик на основе исходных данных о способе предоставления услуг (типе терминала- контейнера, способе и технологии доступа), типе услуг и их объеме, требуемой полосы пропускания для k-той услуги [3], количестве, категории пользователей и перечне доступных услуг.

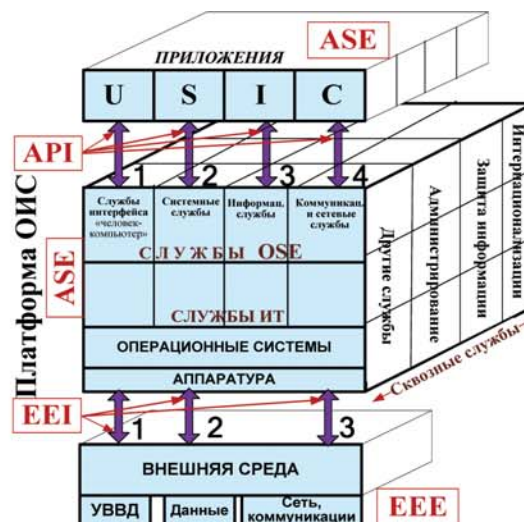


Рис. 1. Эталонная модель среды открытых систем OSE/RM

В состав системы управления должны войти подсистемы: управления конфигурированием услуг; управления инцидентами; управления качеством предоставляемых услуг [4].

Необходимо решить ряд задач: определение назначения и возможностей СУ; выбор математической модели и построение структурно-функциональной модели СУ узла услуг; разработка моделей и методов организации инфокоммуникационных открытых программных интерфейсов в соответствии с ISO/IEC TR 14252; определение критериев и стратегий управления путем многокритериальной оптимизации методом последовательных уступок; расчёт требуемой производительности серверов API и пропускной способности каналов передачи данных для подключения приложений; математическая модель системы предоставления услуг, учитывающая свойства поступающей нагрузки и процессов её обслуживания; выбор информационной платформы анализа ВВХ на основе структурно-функциональной модели СУ; формирование баз исходных данных; выбор средств моделирования и формирование баз данных оценки ВВХ; имитационное моделирование и оценка полученных результатов на основе полученных значений ВВХ качества обслуживания пользователей с учетом категорий.

Модель сервера услуг построена следующим образом: сервер опрашивает несколько очередей сообщений-заявок, при этом обслуживание очередей производится последовательно циклически ( $i = 1, 2, 3, \dots, N-1, N, 1, 2, \dots$  и т.д.). Среднее время ожидания сообщением обслуживания в  $i$ -той очереди  $E[W_i]$  отражает качество обслуживания сигнальных сообщений – заявок на предоставление услуг. Буферы очередей считаются бесконечными, время переключения между очередями ненулевое, что позволяет учитывать вспомогательные процессы. Очереди имеют ассиметричную природу из-за различия предоставляемых услуг и величины нагрузки от каждого из источников. Очевидным условием является непрерывность работы сервера, т.е. сервер обслужит одну из очередей, переходит к следующей. Поток заявок простейший с интенсивностью  $\lambda_i$ , что позволяет описать работу СУ в экстремальных



условиях. Нагрузка, поступающая в каждую из очередей, определяется как

$$\rho_i = \lambda_i \cdot b_i, \quad (1)$$

где  $b_i$  – среднее время обслуживания сервером услуг заявки из очереди  $i$ .

Общая поступающая нагрузка представлена суммой этих значений:

$$\rho = \sum_{i=1}^N \rho_i, \quad (2)$$

Среднее время, необходимое серверу, чтобы переключиться от очереди  $i$  к очереди  $i+1$ , обозначается  $r_i$ , дисперсия времени переключения –  $r_i^{(2)}$ . Среднее значение общего времени, затрачиваемого на переключения, выражается следующим образом:

$$R = \sum_{i=1}^N r_i, \quad (3)$$

Среднее время полного цикла обслуживания ( $C$ ) для всех дисциплин обслуживания:

$$E[C] = \frac{R}{1-\rho}, \quad (4)$$

В виду отсутствия точных формул для оценки циклического обслуживания, возможно использования различных аппроксимаций, например построенные на базе закона псевдосохранения (pseudoconservation law или PCL). Аппроксимирующие

формулы расчёта среднего времени ожидания заявкой обслуживания PCL, предложенный Эвериттом [6]:

$$\sum_{i=1}^N \rho_i (1 - g_i / k_i) E[W_i] = \frac{\rho}{2(1-\rho)} \sum_{i=1}^N \lambda_i b_i^{(2)} + \frac{\rho}{2R} \sum_{i=1}^N (r_i^{(2)} - r_i^2) + \frac{R}{2(1-\rho)} \sum_{i=1}^N \rho_i (1 - \rho_i) + \frac{R}{(1-\rho)} \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i^2}{k_i} - \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i (1 - \rho_i)}{2} \cdot \frac{g_i^{(2)}}{\lambda_i k_i}, \quad (5)$$

где  $g_i = \frac{\lambda_i R}{1-\rho}$  – среднее количество заявок, обслуженных в очереди  $i$  за цикл обслуживания.

### Литература

1. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. Версия 4 // Минсвязи РФ, 2004.
2. Атчик А.А и др. Есть ли жизнь после NGN, CONNECT, №5, 2010. – С.132-136.
3. Новые сетевые технологии в системах управления военного назначения / Под ред.С.М.Одоевского. – СПб.: ВАС, 2007.
4. Варакин Л. Е., Рейман Л.Д. Инфокоммуникации XXI века: технологии, услуги, качество. – М.: МАС, 2001.
5. Легков К.Е. Процедуры и временные характеристики оперативного управления трафиком в транспортной сети специального назначения пакетной коммутации // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт, 2012. – №6. – С. 22-26.
6. Бабошин В.А., Сиротенко Ф.Ф., Легков К.Е. Предложения по построению аппаратно-программного комплекса резервирования информации телекоммуникационной сети специального назначения. // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. Ростов-на-Дону: СКФ МТУСИ, 2011. – С. 175-178.



# К вычислению модуля комплексного числа и огибающей аналитического сигнала

Предложен алгоритм вычисления модуля аналитического сигнала, представляющий собой итерационную процедуру для выполнения операции "поворота" вектора на плоскости. Широкий диапазон вариаций точности алгоритма позволяет расширить возможности оптимизации компромиссных решений по совокупности таких параметров как скорость вычислений, их точность и сложность реализации с приемлемыми для инженерной практики результатами. Описан алгоритм сокращения итерационной процедуры вычисления огибающей модуля аналитического сигнала. Оптимизация начальных условий при представлении модуля вектором на комплексной плоскости.

**Ключевые слова:** цифровая обработка, модуль, аналитический сигнал, алгоритм CORDIC, начальные условия, моделирование, вектор, точность, масштаб времени, затраты.

**Конев Д.С.,**  
Северо-Кавказский филиал  
Московского технического университета  
связи и информатики

## To computation of the complex number module and analytical signal envelope

**Konev D.S.,**  
North-Caucasian branch of the Moscow  
technical university relationship  
and informatics

### Abstract

The algorithm of calculation of the module of an analytical signal is offered, I represent-shchy itself iterative procedure for performance of operation of "turn" of a vector on a plane. The wide range of variations of accuracy of algorithm allows to expand optimization possibilities decisions on set of such parameters as speed of calculations, their accuracy and complexity of realization with results comprehensible to engineering practice. The algorithm of reduction of iterative procedure of calculation bending around the module of an analytical signal is described. Optimization of entry conditions at predstavlennii the module a vector on a complex plane.

**Keywords:** digital processing, the module, analytical signal, algorithm CORDIC, entry conditions, modeling, a vector, accuracy, time scale, expenses.

Вычисление модуля комплексного числа представляется одной из наиболее востребованных задач, которую при цифровой обработке сигналов нужно решать в реальном масштабе времени с высокой точностью. Оригинальный подход к решению этой задачи используется в CORDIC-алгоритме, представляющем собой итерационную процедуру для выполнения операции "поворота" вектора на плоскости. Такой подход позволяет повысить быстроту действия вычислений модуля комплексного числа с высокой точностью и упростить его программно-аппаратную реализацию. Как известно, базовые CORDIC-операции по определению координат  $x$  и  $y$  определяются соотношениями

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= K_i [x_i - \sigma_i y_i \operatorname{tg}\varphi] \\ y_{i+1} &= K_i [y_i + \sigma_i x_i \operatorname{tg}\varphi], \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i$  шаг итерации ( $i = 0, 1, \dots, n$ ), а  $\operatorname{tg}\varphi = \pm 2^{-i}$  представляет собой всего лишь операцию сдвига на  $i$  разрядов в двоичной системе счисления,  $K_i$  — коэффициент, характеризующий деформацию вектора на  $i$  — шаге  $\sigma_i$ .

В общем виде CORDIC-алгоритм по числу операций представляется избыточным и для ускорения вычисления модуля комплексного числа его можно упростить. Представление комплексного числа в виде вектора на комплексной плоскости позволяет уточнить начальные и завершающие приближения к истинному значению искомого вектора. Так, возможно ограничить неопределенность начального положения вектора на плоскости сектором углов  $45^\circ$  путем присвоения большей проекции вектора координате, к которой будет выполняться стяги-

вание вектора, поскольку угол между вектором и его большей проекцией всегда меньше  $45^\circ$ . Далее, можно ограничить размещение этого сектора в более удобном первом квадранте плоскости. Это достигается путем присвоения координате  $X$  положительного значения большей проекции, а координате  $Y$  положительного значения меньшей координаты вектора так, как величина вектора не зависит от знаков абсолютных значений его проекций на координатные оси.

Кроме того, путем присвоения полученному после каждой итерации значению координаты  $Y$  положительного знака можно исключить операции по принятию решения о направлении поворота в последующей итерации. Присвоение величине  $Y$  положительного значения автоматически переводит вектор в изначальный первый квадрант, в котором направление последующего его поворота к оси  $X$  для любой итерации одинаковое.

Таким образом, указанными уточнениями начальных условий фактически исключается из итерационного цикла начальный шаг поворота вектора на  $45^\circ$  и сокращается количество логических операций по определению квадранта размещения вектора, а также направления его поворота при каждой итерации.

Поскольку итерационные шаги однотипны, то при реализации вычислительного цикла алгоритма целесообразно использовать конвейерную схему. При этом, учитывая, что  $K_i$  — коэффициент деформации вектора, не влияет на величину его угла поворота, этот коэффициент достаточно учесть только один раз в последней итерации.



С учетом указанных преобразований, итерационные соотношения (1) приводятся к более простому виду:

$$\left. \begin{aligned} x_{i+1} &= [x_i + \sigma_i y_i (2^{-i})] \\ y_{i+1} &= [y_i - \sigma_i x_i (2^{-i})] \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ .

По результатам последней итерации  $N=i$  модуль вектора  $C$  вычисляется по формуле

$$|C| = x_N K,$$

где  $K = K_1 K_2 \dots K_N$  – суммарный коэффициент деформации.

В соответствии с соотношениями (2) математическая сложность выполнения типовой итерации сведена к двум простым операциям – сложению и сдвигу, что позволяет минимизировать время одной итерации до десятка нс.

Проведенные программно - аппаратное моделирование показало, что потенциальная точность алгоритма не имеет принципиальных ограничений и повышается по мере увеличения числа итераций. Так, например, при использовании 3 итераций ошибка вычислений составляет менее 1%, а при 8 итерациях она падает до десятитысячных долей процента. При этом, сложность реализации алгоритма выражается в наращивании простых идентичных итерационных звеньев. С другой же стороны, столь широкий диапазон вариаций точности, включая прецизионную, позволяет расширить возможности оптимизации компромиссных решения по совокупности таких параметров как скорость вычислений, их точность и сложность реализации с приемлемыми для инженерной практики результатами.

Таким образом, указанные преобразования алгоритма расширяют возможности решения задачи вычислений модуля комплексного числа в реальном масштабе времени с высокой точностью и более низкими затратами.

#### К вычислению огибающей аналитического сигнала

В радиоэлектронике для выделения огибающей информационного сигнала широко используют понятие аналитического сигнала, который определяется известным выражением:

$$u(t) = x(t) + j\tilde{x}(t),$$

где  $E(t) = u(t) = \sqrt{x^2(t) + \tilde{x}^2(t)}$  мгновенное значение огибающей сигнала, а  $\Psi(t) = \omega t + \varphi(t) = \arctg[\tilde{x}(t)/x(t)]$  мгновенная фаза сигнала  $x(t)$ .

На комплексной плоскости он отображается вектором, модуль и фазовый угол которого изменяются от аргумента, а проекция сигнала на вещественную ось для любого значения аргумента равна значению исходного сигнала. Подсчитать большое количество необходимых мгновенных значений огибающей информационного сигнала непосредственным вычислением этой нелинейной функции сложно и мало пригодно для практического использования. Оригинальный подход для упрощения указанных вычислений используется в известных алгоритмах CORDIC, для реализации которых требуется простой набор

операций: сдвиги, сложение (вычитание), определение знака числа и выборки из памяти. Алгоритм CORDIC представляет собой итерационную процедуру для выполнения операции «поворота» вектора на плоскости на произвольный угол. Представляя некоторый угол в виде суммы углов  $\varphi_i = \pm \arctg(2^{-i})$ ,  $i = 0, 1, 2, \dots, n$ , операцию поворота раскладывают в серию последовательно выполняемых элементарных поворотов. Таким образом получают итерационные формулы для  $i$ -го шага ( $i = 1, 2, \dots, n$ ):

$$\begin{aligned} x_{i+1} &= K_i [x_i - \sigma_i y_i 2^{-i}] \\ y_{i+1} &= K_i [y_i + \sigma_i x_i 2^{-i}] \end{aligned}$$

где  $K_i$  – коэффициент, характеризующий деформацию вектора на  $i$ -шаге  $\sigma_i \in (-1, +1)$  – оператор, определяющий направление поворота.

Этот метод привлекателен прямой зависимостью числа итераций от числа разрядов в представлении угла поворота, т.е. от точности вычислений. Стремление повысить скорость вычисления огибающей аналитического сигнала требует поиска компромиссных решений между количеством итераций и точностью. Анализ особенностей представления итерационных углов поворота показывает, что точность вычислений не зависима от начального положения вектора и определяется последним шагом итераций. При этом начальное угловое положение вектора оказывает влияние на уровень приближения в каждой итерации к его истинному значению. На рисунке 1 приведена рассчитанная зависимость ошибки вычислений при начальных угловых положениях вектора 0; 15; 30 и 45 градусов от числа итераций.

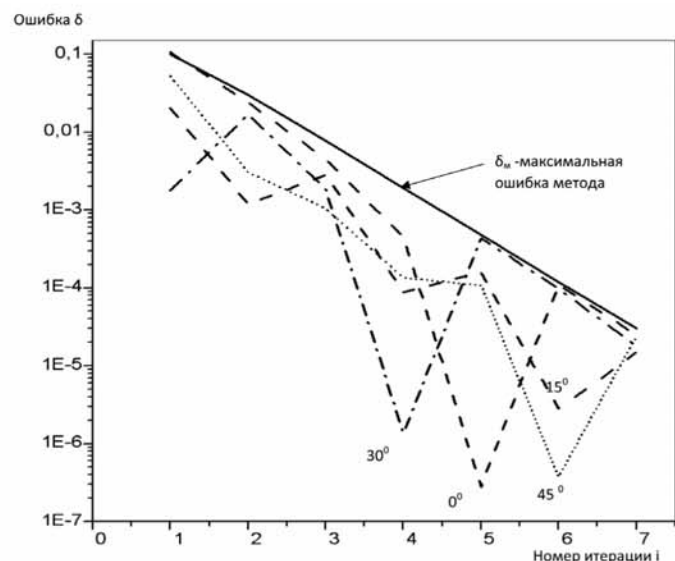


Рис. 1. Зависимость ошибки вычислений модуля вектора от его начального углового положения

Приведенные результаты расчетов подтверждают вывод о том, что точность вычислений не зависима от начального положения вектора и определяется последним шагом итерационного цикла. При этом начальное угловое положение вектора оказывает влияние на уровень приближения в каждой

итерации к его истинному значению. В зависимости от начального положения вектора возможно получить ошибку вычислений не более заданной в промежуточных итерациях. Например, при начальном угле вектора  $30^\circ$  минимальная ошибка достигается не в последней 7, а в 5 итерации. Это объясняется использованием одинакового набора шагов аппроксимации для любых начальных углов размещения вектора. В тоже время эта особенность показывает на возможность сокращения количества итераций при учете начального углового положения вектора.

Поскольку итерационные шаги однотипны, реализация алгоритма поддается свертыванию в цикл, что позволяет прервать цикл при достижении заданного критерия. В качестве такого критерия можно использовать нормированное значения меньшей проекции вектора. При заданной точности вычислений нормированная величина этой проекции известна. В результате сравнения с ней полученного значения меньшей проекции вектора можно ограничить цикл данным числом итераций. Например, при начальном угле  $30^\circ$  вычислительный цикл будет ограничен 5-ю итерациями. При этом ошибка вычислений не будет превышать допустимой ошибкой полного цикла из 7-ми итераций.

Таким образом, используя такой подход при вычислении огибающей аналитического сигнала, представляющей собой последовательность комплексных чисел с различными исходными угловыми положениями на плоскости, можно минимизировать время вычислений без ухудшения точности.

## Литература

1. Солонина А.И., Улахович Д.А., Арбузов С.М., Соловьёва Е.Б. Основы цифровой обработки сигналов: Учеб. пособие для вузов. Изд. 2-е испр. и перераб. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
2. Лайонс Ричард. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006.
3. Дьяконов В.П. Компьютерная математика. Теория и практика. – М.: Нолидж, 2001.
4. Захаров А.В., Хачумов В.М. Алгоритмы CORDIC. Современное состояние и перспективы. – Переславль-Залесский: проект РФФИ, 2004.
5. Бройдо В.Л., Ильина О.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации, 3-е издание: Питер, 2008.
6. Айфичер Эммануил С. Плимутский университет, Джервис Барри У. Университет Шеффилда Халлама Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004.
7. Куприянов М.С., Матюшкин Б.Д. Цифровая обработка сигналов: процессоры, алгоритмы, средства проектирования. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Политехника, 2002.
8. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007.
9. CORDIC-Википедия. <http://ru.wikipedia.org>. 2006.
10. Ивченко В.Г. Применение языка VHDL при проектировании специализированных СБИС. – М.: COLON-P, 2002.





# Применение адаптивной квадратурной модуляции в задачах формирования широкополосных сигналов, основанных на собственных векторах субполосных матриц

В настоящее время одним из распространенных способов эффективного использования частотных ресурсов является применение метода кодового уплотнения. Однако недостатком данного метода является высокая чувствительность к сосредоточенным по спектру помехам. Устойчивым к сосредоточенным по спектру помехам является широкополосный сигнал, сформированный из совокупности собственных векторов субполосной матрицы. Отличительной особенностью спектра данного сигнала является практически полное отсутствие энергетических составляющих в требуемой полосе частот, в которой сосредоточена помеха. Применение адаптивной квадратурной модуляции в задачах формирования широкополосных сигналов, основанных на собственных векторах субполосных матриц позволяет решить множество проблемных вопросов.

**Ключевые слова:** модуляция, широкополосный сигнал, вектор, матрица, частотный ресурс.

Белов С.П., Старовойт И.А.,  
Забнин С.А.,  
Белгородский государственный  
университет

## Application of the adaptive quadrature modulation in tasks of formation of the broadband signals based on latent vectors of subband matrixes

Belov S.P., Starovoyt I.A.,  
Zabnin S.A.,  
Belgorod state university

### Abstract

Now one of widespread methods of effective use of the frequency resources is applications of a method of code multiplexing. However a lack of this method is high sensitivity to the noises concentrated on a range. Against the noises concentrated on a range the broadband signal created from set of latent vectors of a subband matrix is steady. Distinctive feature of a range of this signal is almost total absence of energetic components in required frequency band in which the noise is concentrated. Application of the adaptive quadrature modulation in tasks of formation of the broadband signals based on latent vectors of subband matrixes allows to decide a set of problem questions.

**Keywords:** modulation, broadband signal, vector, matrix, the frequency resource.

Одним из способов эффективного использования частотных ресурсов является применение метода кодового уплотнения. Однако недостатком сигналов, применяемых в современных системах связи с кодовым разделением адресов, является высокая чувствительность к сосредоточенным по спектру помехам. Согласно [1] устойчивым к сосредоточенным по спектру помехам является широкополосный сигнал, сформированный из совокупности собственных векторов субполосной матрицы. Отличительной особенностью спектра данного сигнала является практически полное отсутствие энергетических составляющих в требуемой полосе частот, в которой сосредоточена помеха. В свою очередь у данного сигнала есть следующий недостаток - необходимость хранения большой совокупности собственных векторов для каждого частотного интервала [1]. Это связано с тем, что полоса частот формируемого сигнала разбивается на определенное число равных субполос, и при фиксировании в радиоканале в полосе частот соответствующей одной из них сосредоточенной по спектру помехи, сигнал синтезируется с минимумом энергии именно в этой субполосе, а для этого необходимо хранить в памяти приемника и передатчика наборы собственных векторов для каждой частотного интервала [1].

Сократить необходимое число собственных векторов можно применив, квадратурную модуляцию. Замена квадратурного

канала на синфазный, а синфазного на квадратурный приводит к развороту спектра сигнала. Таким образом, достаточно использовать лишь те собственные вектора, которые были сформированы для половины частотных интервалов, что сократит общее число хранящихся в памяти приемо-передающих устройств собственных векторов вдвое.

Однако для переноса спектра сигнала в высокочастотную область при помощи квадратурной модуляции необходимо сформировать соответствующий ему сигнал в синфазном канале для компенсации инверсного спектра сигнала на выходе квадратурного модулятора [2]. Далее представлены математические основы представления сигнала в комплексной форме для последующей обработки квадратурным модулятором.

Опираясь на утверждение о том, что любой дискретный периодический сигнал можно представить виде суммы гармоник [3], можно получить следующее общее выражение для сигнала:

$$s(k\Delta t) = a_0 + \sum_{n=1}^{N/2} [a_n \cos(\omega_n k\Delta t) + b_n \sin(\omega_n k\Delta t)] \quad (1)$$

где  $\Delta t = T/N$  – период дискретизации;  $N$  – количество отсчетов сигнала;  $\omega_n = 2\pi n/\Delta t$  – круговая частота,  $T$  – период сигнала,  $a_n$  и  $b_n$  коэффициенты, определяемые следующим образом:



$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \cos(\omega_n t) dt \approx \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi mk}{N}\right); \quad (2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T s(t) \sin(\omega_n t) dt \approx \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi mk}{N}\right); \quad (3)$$

Если рассмотреть дискретное преобразование Фурье от сигнала 1 и сравнить с выражением 2 и 3 то получим [3]:

$$S(n) = \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} = \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \cos\left(\frac{2\pi mk}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} s(k\Delta t) \sin\left(\frac{2\pi mk}{N}\right) = a_n N/2 - j b_n N/2; \quad (4)$$

Известно, что симметричные относительно центральной частоты отсчеты спектра дискретного сигнала комплексно сопряжены. Получается фактически можно отбросить половину спектра сигнала, умножив при этом его первую половину на соответствующий коэффициент:

$$\tilde{S}(n) = \begin{cases} 2 * S(n), & \text{при } n < N/2; \\ 0, & \text{при } n > N/2 \end{cases}; \quad (6)$$

Теперь полученный дискретный спектр подставим в выражение для обратного дискретного преобразования Фурье:

$$\tilde{s}(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \tilde{S}(n) e^{\frac{j2\pi nk}{N}} = \sum_{n=0}^{N/2} (a_n - j b_n) e^{\frac{j2\pi nk}{N}}; \quad (7)$$

$$\text{Re}(\tilde{s}(k)) = a_0 + \sum_{n=1}^{N/2} \left[ a_n \cos\left(\frac{j2\pi nk}{N}\right) + b_n \sin\left(\frac{j2\pi nk}{N}\right) \right]; \quad (8)$$

Исходя из выражения 8, реальная часть функции 7 полностью совпадает с выражением 1, а спектр сигнала будет иметь вид 6. Полученный сигнал фактически является суммой комплексных экспонент и не имеет инверсной составляющей спектра сигнала, таким образом, он может быть использован при квадратурной модуляции согласно [2].

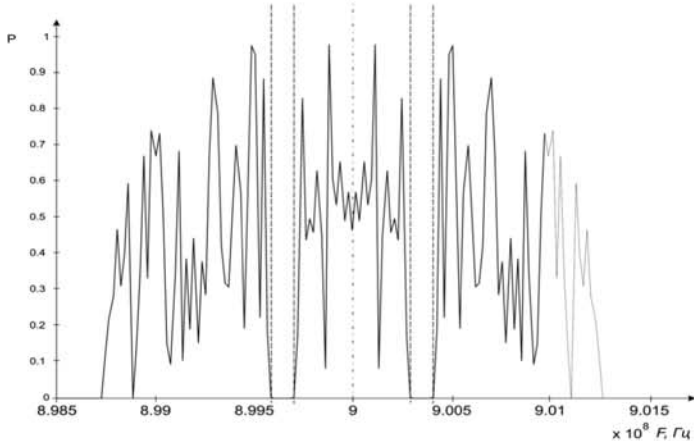


Рис. 1. Спектр сигнала при использовании обыкновенной амплитудной модуляции (частота несущей 900 МГц)

Взаимная замена квадратурного и синфазного каналов на входе квадратурного модулятора приводит к развороту спектра сигнала. Это подтверждают результаты компьютерного моделирования сигналов, сформированных с применением собственных

векторов субполосных матриц, представленные на рис. 2 и 3. Для формирования сигнала в требуемой полосе частот при взаимной замене квадратурного и синфазного каналов, необходимо подстраивать частоту несущего гармонического колебания на величину равную ширине полосы формируемого сигнала.

Применение адаптивной квадратурной модуляции, т.е. квадратурной модуляции с взаимным переключением квадратурных и синфазных каналов, а также подстройкой частоты несущих колебаний, в зависимости от локализации узкополосных помех в радиоканалах, не только позволяет уменьшить ширину спектра сигнала по сравнению с обыкновенной амплитудной модуляцией (рис. 1 и 2), но и сократить число собственных векторов необходимых для формирования широкополосного сигнала.

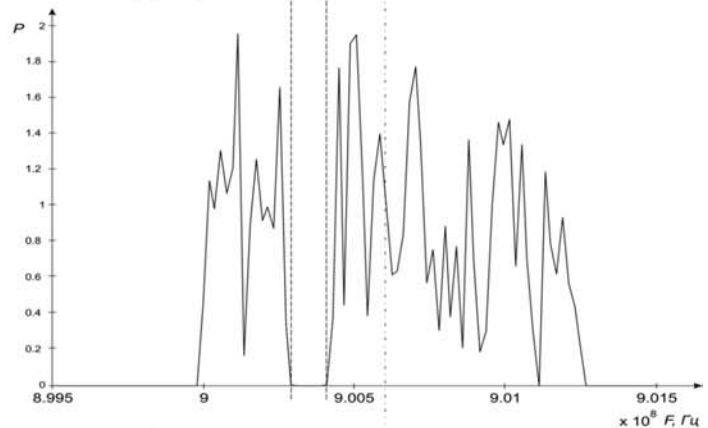


Рис. 2. Спектр сигнала при квадратурной модуляции (частота несущей 900 МГц)

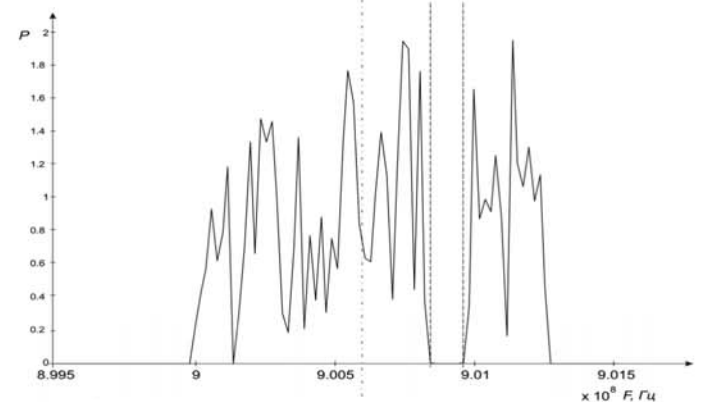


Рис. 3. Спектр сигнала при квадратурной модуляции с взаимной заменой квадратурного и синфазного каналов (частота несущей 901,25 МГц)

### Литература

1. Старовойт И.А., Ушаков Д.И., Брус А.И. О методе формирования канальных сигналов на основе применения собственных векторов субполосных матриц // Сборник трудов международной конференции DSPA-2011. – №1, 2011. – С. 76-77.
2. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов: Второе издание. Пер. с англ. – М.: «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
3. Умняшкин С.В. Теоретические основы цифровой обработки и представления сигналов: Учеб. пособие. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2009. – 304 с.

# К вопросу о процессном подходе к изучению экономической теории

Авторы обосновывают необходимость изучения Экономической теории студентами СКФ МТУСИ и применения процессного подхода к изучению данной дисциплины с целью обеспечения требуемого уровня качества и удовлетворенности всех заинтересованных сторон.

**Ключевые слова:** экономическая теория, процессный подход, компетентностный подход.

Сущенко М.И., Головина И.В.,  
Абрамов Я.Б.,  
Северо-Кавказский филиал  
Московского технического университета  
связи и информатики

Качество подготовки студентов является одним из важнейших показателей деятельности вуза и требует построения в образовательном учреждении строгой системы мер и взаимодействий в рамках принятой или принятых моделей систем менеджмента качества.

Опыт внедрения системы менеджмента качества в Северо-Кавказском филиале Московского технического университета связи и информатики (СКФ МТУСИ) показывает, что создание системы качества, базирующейся на гармоничном применении принципов Типовой модели, разработанной в рамках проекта "Научно-методическое обеспечение по созданию и внедрению системы управления качеством в образовательных учреждениях профессионального образования" рядом вузов страны под руководством Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета "ЛЭТИ" и стандартов семейства ИСО 9000 является действенным инструментом обеспечения высокого качества подготовки студентов.

Проецируя принципы менеджмента качества на образовательный процесс, будем утверждать, что эффективность системы качества образовательного учреждения зависят от того на сколько декомпозированы, тщательно прописаны, обеспечены документами, согласованы и, главное, результативны процессы вуза и, в первую очередь процессы проектирования, разработки и реализации основных образовательных программ.

Как известно, ФГОС 3-го поколения ориентируют высшую школу на формирование компетенций будущего специалиста, необходимых для решения профессиональных задач в различных видах деятельности. Центр тяжести тем самым переносится на умение применять

полученные знания, что повышает значимость и удельный вес прикладных, отраслевых дисциплин.

Известно, что экономическая теория является фундаментальной наукой, формирующей представление об экономическом устройстве общества, закономерностях экономического поведения и т.п. Как и любая подлинно научная теория, она не только дает объяснение фактам экономической жизни, но и содержит в себе возможность прогноза развития событий. Поэтому целью изучения экономической теории является не только и не столько вооружение студентов суммой знаний по экономике, сколько формирование экономического образа мышления, важнейшей профессиональной компетенции бакалавра по направлению подготовки "менеджмент". Представляется, что важнейшими характеристиками экономического образа мысли являются:

- ориентация на достижение высокого конечного результата социально значимой хозяйственной деятельности;
- умение просчитывать возможные последствия принимаемых хозяйственных решений;
- способность принимать нетривиальные, возможно, новаторские решения в сложных экономических ситуациях;
- умение выбирать из множества альтернатив наиболее эффективный вариант экономического поведения;
- преодоление сложившихся в переходную эпоху стереотипов хозяйствования, ориентированных на использование теневых форм, отрицающих социальную ответственность.

Наличие курса экономической теории не предусмотрено базовой частью ФГОС ВПО по направлению 080200 "Менеджмент" [4],

## Process approach to study of the economic theory

Suscshenko M.I., Golovina I.V.,  
Abramov Ya.B.,  
North-Caucasian branch of the Moscow  
technical university relationship  
and informatics

### Abstract

Authors prove necessity of studying of the Economic theory by students of NCB MTUCI and applications of the process approach to studying of the given discipline for the purpose of maintenance of a demanded degree of quality and satisfaction of all interested parties.

**Keywords:** economic theory, process approach, competence approach.

однако длительный опыт преподавания экономических наук для специальности 080502.65, изучение требований и ожиданий потребителей в лице потенциальных работодателей, а также самих студентов, получающих образование в вузе, свидетельствуют о необходимости его включения в вариативную часть учебного плана. При этом, формируя содержание курса, необходимо учитывать, что работодатели предъявляют требования не к уровню владения выпускниками системой экономических категорий, а к качеству их профессиональной подготовки, к способности применять полученные специальные знания в своей профессиональной деятельности. Поэтому о значимости общетеоретической подготовки можно судить лишь косвенно, на основе оценок общей культуры и эрудиции выпускников, уровня их гуманитарной подготовки, способности к партнерскому взаимодействию, навыкам управления персоналом и т.п. Анкетирование работодателей позволяет выявить степень их удовлетворенности перечисленными характеристиками выпускников, однако связь с экономическим образом мышления как профессиональной компетенцией выглядит неочевидной.

Следует заметить, что ожидания и требования самих выпускников, выступающих в качестве потребителей образовательных услуг, отличаются от требований ФГОС. Прагматично настроенные студенты стремятся к освоению достаточно узких областей знаний, необходимых для избранной специальности. Значимость теоретико-экономической подготовки обычно недооценивается.

Изучение экономической теории нацелено не только на внешних, но и на внутренних потребителей, к которым следует отнести преподавателей, читающих курсы прикладных, отраслевых экономических дисциплин. Практически все они оперируют понятиями, первое знакомство с которыми происходит при изучении курса экономической теории.

Другая группа внутренних потребителей – это преподаватели, осуществляющие руководство ВКР по направлению подготовки 210700 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи". Неотъемлемым компонентом дипломного проектирования является технико-экономическое обоснование проекта. Чтобы рассчитать экономическую эффективность предлагаемого проектного решения, студент-диплом-

ник должен владеть не только основами экономики связи и технико-экономического анализа, но и более широкими экономическими знаниями, которыми может дать ему экономическая теория. Такие понятия, как издержки, доходы, прибыль, капитал, финансы, впервые раскрываются именно в курсе экономической теории. Далее, расчет эффективности инвестиционного проекта предполагает дисконтирование, т.е. приведение разновременных инвестиций и денежных поступлений к определенному периоду времени или, проще, приведение будущих доходов к моменту осуществления вложений. Дисконтирование основывается на принципиальном положении экономической теории об изменении во времени ценности благ, в том числе и денежных ресурсов.

Обычная практика такова, что руководство технико-экономическим обоснованием ВКР поручается кому-либо из преподавателей кафедр экономики и управления, читающих курсы прикладных экономических дисциплин. Это не умаляет значимости экономической теории в подготовке бакалавров по направлению 210700, поскольку последняя обеспечивает определенный стартовый уровень экономической подготовки студентов. С другой стороны, становится очевидной необходимость обратной связи со стороны инженерных кафедр, учета их требований к определению перечня дисциплин по выбору, содержанию экономических дисциплин, ориентированных на выпуск полноценного специалиста, способного анализировать экономические и организационные проблемы и общественные процессы в организации связи как активного субъекта экономической деятельности.

Реализация целей изучения экономической теории требует подключения к образовательному процессу современных педагогических технологий, среди которых следует выделить проблемное обучение, ролевые и деловые игры, эвристическое обучение. Особое значение имеют технологии контекстного обучения, в которых дидактическими средствами моделируется будущая профессиональная деятельность студентов. В рамках контекстного обучения рекомендуется использование кейс-технологий, предполагающих создание проблемной ситуации на основе фактов реальной жизни или профессиональной деятельности. При этом допускается альтернативность подходов и путей по-

иска решения проблемы. Технологии активного обучения способствуют не только формированию познавательной мотивации студента, но и готовят его к профессиональной деятельности.

Наибольшую трудность представляет оценка результативности изучения экономической теории, поскольку главная цель заключается в формировании способности мыслить экономически, и применять это умение в решении профессиональных задач, видеть возможность "экономического измерения" любой профессиональной или житейской проблемы. Поэтому недостаточно подсчитать средний балл из оценок, полученных на экзамене или при тестировании остаточных знаний. Необходимо анкетирование студентов для выявления их удовлетворенности изучением экономической теории, разработка анкеты для работодателей, учитывающей их оценку такой профессиональной компетенции выпускника, как экономический образ мышления.

Обратившись к ГОСТ Р ИСО 9001-2008, рассмотрим процесс изучения дисциплины Экономическая теория как деятельность, использующую ресурсы и управляемую в целях преобразования входов в выходы. На Рис. 1 показано условное изображение процесса изучения дисциплины в нотации IDEFO.

При этом изучение дисциплины рассматривается как составная часть более крупного процесса "Реализация основной образовательной программы" по специальности или направлению в совокупности требований к поставщику, с ресурсами, управляющими воздействиями и с учетом требований потребителей. Одним из документов, предвещающих разработку процесса освоения дисциплины, должна являться структурно-логическая схема освоения ООП с выверенными связями между дисциплинами.

Рассмотрим факторы, влияющие на результативность процесса изучения дисциплины.

Как известно стрелки, обращенные к верхней грани прямоугольника, обозначающего процесс, отражают управляющие воздействия. В нашем случае это федеральные и локальные нормативные акты, методические документы и, конечно, учебно-методический комплекс дисциплины (УМКД).

Известно, что процедуры оценки уровня знаний студентов должны быть составлены в соответствии с планируемыми результатами обучения и должны отвечать целям программы.



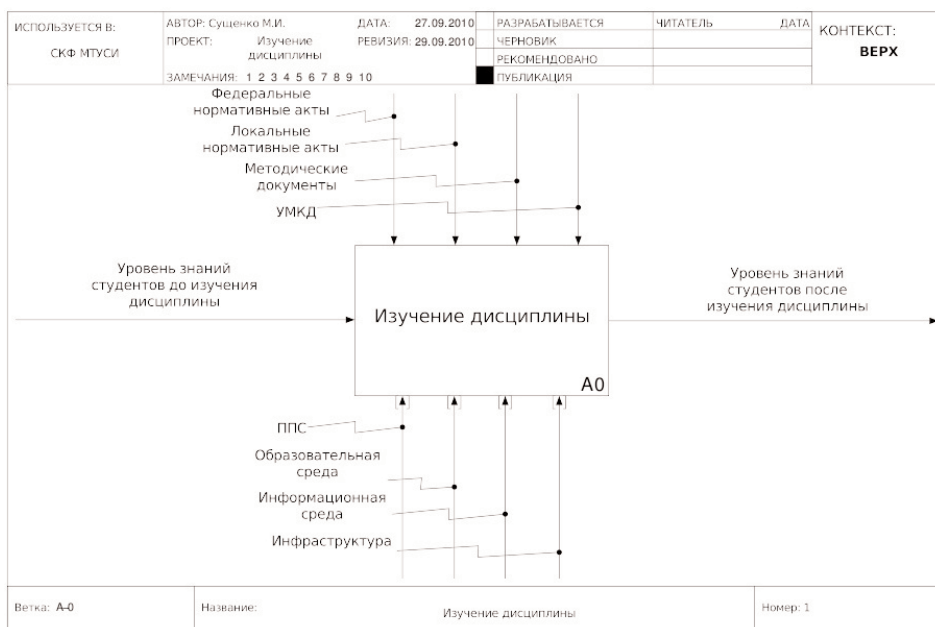


Рис. 1. Изучение дисциплины как самостоятельный процесс

Таким образом, первое, что должно быть понято – это то, что в образовательном учреждении должны быть четко сформулированы и осознаны требования потребителей и всех заинтересованных сторон к уровню подготовки студентов.

И если требования государства заложены в ФГОС, то требования работодателей и других потребителей, которые должны реализовываться дисциплинами вариативной части учебного плана, должны быть сформулированы на основе изучения соответствующих мнений, их анализа, обобщения и проецирования на перечень и содержание дисциплин вариативной части.

Процедуры обеспечения указанных выше требований должны быть прописаны, понятны и прослеживаемы. Они должны подтверждаться материалами, выложенными в ЛВС ОУ, на сайте ОУ, быть известны всем категориям заинтересованных лиц. Очень хорошим показателем учета мнения потребителей является практика рецензирования УМКД в целом, или их отдельных частей, особенно в части содержания дисциплины и распределения часов между отдельными разделами и темами.

На этом этапе анализа управляющих воздействий целесообразно рассмотреть использование новых образовательных технологий, их описание в УМКД.

Следующим вопросом, на который следует обратить внимание, являются взаимоотношения с поставщиками. Следует отметить, что поставщики могут быть как внешними (школы, колледжи и т.д.), так и внутренними (кафедры и преподаватели образовательного учреждения). В любом случае изучение дисциплины должен предварять диагностический контроль, который позволяет установить насколько выполнены требования потребителей, сформулировать претензии к поставщику и скорректировать, насколько это возможно, образовательный процесс по рассматриваемой дисциплине.

Проведение диагностического тестирования является подтверждением понимания функционирования процессного подхода в рамках созданной системы качества. При этом как всегда большое значение имеет наличие и качество документов, описывающих как саму эту процедуру, так и процедуру коррекции знаний в случае их не полного соответствия требованиям.

Стрелки, обращенные к нижней грани прямоугольника на Рис. 1 – это ресурсы образовательного процесса. Требования к ним, в частности требования к профессорско-преподавательскому составу (ППС), материальной базе и т.п. прописаны в аккредитационных показателях. Однако на некоторые моменты хочется обратить внимание особо.

1) Интеграция учебного процесса и науки возможна только в том случае, когда дисциплины в вузе изучаются под руководством преподавателей, чьи научные интересы совпадают, пусть даже косвенно, с преподаваемой дисциплиной. Это должно подтверждаться опубликованными статьями, тезисами докладов, отчетами по НИР и т.д.

2) Не ущемляя права преподавателя на творчество в рамках педагогического процесса считаем, что в УМКД должны быть строго прописаны минимальные требования к материально-техническому обеспечению дисциплины. В частности, должен быть составлен перечень и определено количество образцов специальной техники, а также должно быть определено количество компьютерных аудиторных часов в расчете на одну группу.

3) Качество подготовки студентов в настоящее время все больше зависит не от наличия библиотечного фонда на бумажных носителях в том или ином образовательном учреждении, а от наличия электронных версий изданий, доступа к ведущим библиотекам и умения найти требуемые источники в сети Интернет. Желательно, чтобы список основной и дополнительной литературы УМКД трансформировался в список информационных источников и содержал перечень как русско-, так и англоязычных сайтов по рассматриваемому предмету.

Таким образом, изучение Экономической теории представляется необходимым компонентом процесса формирования профессиональных компетенций выпускника СКФ МТУСИ, а применение процессного подхода к изучению данной дисциплины – необходимым условием обеспечения требуемого уровня качества и удовлетворенности всех заинтересованных сторон.

### Литература

1. Стандарты и Директивы для Агентств Гарантии Качества в Высшем Образовании на Территории Европы (ENQA).
2. ГОСТ Р ИСО 9000-2008. Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь.
3. ГОСТ Р ИСО 9001-2008. Системы менеджмента качества. Требования.
4. ФГОС ВПО по направлению подготовки 080200 "Менеджмент".
5. ФГОС ВПО по направлению подготовки 210700 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи".

# Перспективные направления развития инфокоммуникационной отрасли

*В работе отражены перспективные направления развития инфокоммуникационной отрасли, которые представляют широкие возможности для карьерного роста и безбедного существования её сотрудников. Внедрение инновационных технологий, продиктованное самой эпохой НТП, создаёт устойчивый базис повышения роли индустрии связи в народном хозяйстве.*

**Ключевые слова:** инфокоммуникации, рынок труда, вакансии, доход, связь, перспективы.

**Овчаров М.С., Литвинова И.Н.,**  
Северо-Кавказский филиал  
Московского технического университета  
связи и информатики

## Perspective directions of infocommunication branch development

**Ovcharov M.S., Litvinova I.N.,**  
North-Caucasian branch of the Moscow  
technical university relationship  
and informatics

### Abstract

In the work perspective directions of development infocommunication which represent ample opportunities for career growth and a comfortable existence of its employees are reflected. The introduction of innovative technologies dictated by epoch NTP, creates steady basis of increase of a role of the industry of communication in a national economy.

**Keywords:** infocommunications, a labor market, vacancies, the income, communication, prospects.

На данный момент сфера инфокоммуникаций и информационных технологий стремительно развивается. Данная отрасль интересна соискателям, поскольку предлагает широкое поле деятельности, возможности стремительного карьерного роста и конкурентоспособный уровень оплаты, рекрутерам – сложные, интересные и дорогостоящие проекты. Появление и разработка новых технологий, доходы, исчисляемые в миллиардах долларов, конечно же, привлекают специалистов.

Самым лакомым сегментом рынка инфокоммуникационного оборудования остается сегмент оборудования сотовой связи или сетей радиодоступа (Radio Access Network, RAN). Рынок телекоммуникационного оборудования по-прежнему "контролируют" западные компании: Nokia, Alcatel-Lucent, Ericsson в области мобильной связи, в области стационарной связи компании Huawei, Nokia, Network и Alcatel-Lucent.

По уровню своего развития российские инфокоммуникации, к сожалению, до сих пор сильно отстают от уровня развитых стран, поэтому ни о какой перенасыщенности рынка труда не может идти речи. В последнее время в динамике развития российского рынка инфокоммуникаций наблюдается значительный подъём на новый уровень предоставления услуг связи и интернет технологий.

Главная тенденция российского рынка инфокоммуникаций – развитие технологий broadband, то есть широкополосного доступа в Интернет, являющегося базой для предоставления таких услуг, как IPTV или HDTV. Эта тенденция обусловлена развитием компьютерного рынка страны в целом, что подтверждают дан-

ные по уровню проникновения компьютеров в Москве и регионах. Так, в Москве этот уровень составляет 70%, а в регионах – 17%, при этом уровень распространения Интернета в Москве – 55%, а в среднем по России – 15%. Иными словами, в регионах практически каждый компьютер подключен к Интернету. В то же время уровень проникновения именно широкополосного доступа (ШПД) в Москве равен 49%, а по России – всего лишь 4%. Это значит, что в Москве устаревший dial-up стремительно выходит из обращения. Этот же процесс можно наблюдать и в регионах.

Наибольшие перспективы у технологий, которые обеспечивают broadband. Во-первых, это xDSL, а именно ADSL2+, VDSL, HDSL. Во-вторых, это FTTx. Сейчас в Москве в ряде других городов начался проект по модернизации "последней мили" МГТС, который подразумевает прокладку оптоволоконного распределительного шкафа.

В регионах мы применяем сочетание различных технологий для оказания услуг по ШПД – к ним относятся FTTB (оптоволоконно в здании), а также FTTC, FTTH (оптоволоконно в дом). Кроме того, в тех регионах, где развита медная инфраструктура, она комбинируется с данными технологиями – опыт Москвы показал, что при правильном подходе эта модель дает очень хорошие результаты. И, конечно, большое будущее ждет беспроводные технологии, такие как WiMAX.

Можно сделать вывод о том, что в свете развития инфокоммуникационного рынка в России возрастает спрос на квалифицированных специалистов в этой области. Рассмотрим наиболее востребованные профессии в этой сфере развития.

**Структура спроса в сфере "Информационные технологии, IT, Телеком", январь 2011 г.**



Рис. 1

**Структура средних зарплат в профобласти "Информационные технологии, IT, Телеком", 2010г.**



Рис. 2

**Индекс HeadHunter в сфере IT, январь 2011 г.**



Рис. 3

Давайте рассмотрим современный рынок труда в области инфокоммуникаций (по данным известного не только в РФ, но и за рубежом рекрутингового портала HeadHunter) (рис. 1). Анализировалась база вакансий и резюме hh.ru за 2010-2011 г. [2]

Количество вакансий: 75 917

Количество резюме: 87 779

**ВАЖНО:** по умолчанию в отчете представлены данные по специалистам, обладающим знаниями одного или нескольких продуктов: Windows Server, SharePoint, Exchange, SQL Server, Office Communication Server, Forefront, System Center, Dynamics AX, Dynamics NAV, Dynamics CRM, .net development.

Наиболее часто в ИТ – сфере ищут программистов, на них приходится 21% вакансий в структуре всех публикаций.

Неплохим спросом пользуются у работодателей специалисты по продажам, системные администраторы, консультанты и руководители проектов.

Приведена усредненная зарплата для консультантов и программистов (рис. 2). Отмечу, что для таких специалистов зарплата может сильно варьироваться в зависимости от знания языков, платформ, наличия сертификатов и пр. В зарплатном анализе не учитывались ведущие консультанты и программисты, их помощники и ассистенты.

Самая высокая зарплата за прошедший год была зафиксирована у руководителей проектов (99 100 р.). Зарплаты консультантов, специалистов по продажам и программистов были примерно на одном уровне и составили 64 000-68 000р. Самый низкий месячный заработок среди рассматриваемых специалистов был у верстальщиков и специалистов технической поддержки (31 000-32 000 р.)

Также по данным исследования был выявлен индекс HeadHunter в сфере IT, который показывает соотношение числа вакансий и резюме, количество соискателей на одну открытую вакансию (рис. 3). В случае, если индекс соответствует значению 4 и более, как в позициях "системный администратор", "руководитель проектов", значит, рынок труда смещен в сторону работодателей.

Количество открытых вакансий значительно ниже количества свободных соискателей значительно. Как следствие, соискатели могут столкнуться с проблемами при поиске работы.



В то же время для работодателя это благоприятная ситуация: выбор кандидатов значительно шире.

Индекс HeadHunter, соответствующий значению от 0 до 1,9, свидетельствует о том, что спрос на специалистов на сайте hh.ru превышает предложение, в связи с чем работодатель может потратить немало сил для поиска нужного кандидата. А вот для соискателя это вполне благоприятная ситуация. Не испытывали проблем с поиском работы в январе 2011 г. консультанты, верстальщики, программисты, тестировщики, специалисты по маркетингу и продажам.

Нормальный уровень индекса HeadHunter (от 2 до 4), представленный в позиции "специалист технической поддержки", говорит о хорошей ситуации на рынке. В данном случае на одну вакансию претендуют примерно 2-4 кандидата, что говорит о том, что проблем с трудоустройством и подбором персонала не будет ни у соискателей, ни работодателей.

Давайте рассмотрим ситуацию на рынке труда в ракурсе другого не менее известного рекрутингового агентства Superjob.ru.

Инфокоммуникации – самая динамичная и перспективная область не только зарубежом, но и в России. Инфокоммуникационные компании предлагают новые услуги, их доходы растут, создаются новые рабочие места, зарплаты сотрудников находятся на самом высоком уровне и постоянно растут. Однако новые технологии требуют квалифицированных специалистов и управленцев, с поиском которых на рынке труда не все так просто. По мере развития отрасли возникают абсолютно новые для российского рынка профессии. Можно сказать, что данная индустрия в России переживает кадровый голод, несмотря на ежегодное большое количество выпускников технических вузов. Спрос на квалифицированных специалистов по сравнению с предложением превышает чуть ли не в четыре раза (по данным рекрутингового портала Superjob.ru).

Сфера инфокоммуникаций интересна соискателям, поскольку предлагает широкое поле деятельности, возможности стремительного карьерного роста и конкурентоспособный уровень оплаты. Говоря о сфере инфокоммуникаций, можно выделить также, наряду со списком hh.ru, наиболее востребованные специальности среди квалифицированных специалистов,

как специалисты по VOIP, Cisco, Avaya, Nortel и др. Спрос на труд менеджеров по продаже также существенно превышает предложение. Их поиску посвящено 50,1% всех запросов инфокоммуникационных компаний, по данным рекрутингового портала Superjob.ru. Профиль "идеального" менеджера по продажам: высшее техническое /экономическое/ маркетинговое образование, знание продукции и основных игроков рынка, опыт работы в сфере инфокоммуникаций не менее двух-трёх лет, широкая сеть контактов и клиентская база.

В секторе инфокоммуникаций и ИТ наблюдается активная "миграция" менеджеров по продаже. Так, нередко должность менеджера корпоративных продаж компьютерного оборудования, комплекующих предлагают менеджеру, который ранее занимался продажей оборудования для структурированных кабельных сетей, и т.п. Ведь, хотя продукт и отличается, аудитории, на которые рассчитан продукт, пересекаются или совпадают: крупные коммерческие, государственные учреждения, банки. В данном случае решающую роль играет база данных менеджера, его сеть контактов.

В связи с острой нехваткой специалистов, к работе активно привлекаются выпускники вузов с техническим образованием, даже без опыта работы по специальности. Для работы в сфере продаж также рассматривают кандидатуры выпускников с экономическим, маркетинговым образованием. Им предоставляется обучение непосредственно на рабочем месте и/или специальное обучение по продукции компании на внутренних курсах, тренингах. Предпочтение отдают молодым специалистам со знанием иностранных языков (английский обязателен практически в ста процентах вакансий, немецкий – желателен).

Не уменьшается потребность в менеджерах среднего звена и топ-менеджерах: как руководителей компаний, так и руководителей направлений, связанных с производством и продвижением определённых категорий продукции, часто – абсолютно новых, уникальных продуктов, аналогов которых нет.

В разных компаниях функции некоторых специалистов определяются по-разному. К примеру, в некоторых компаниях менеджер проектов занимается как поиском, привлечением клиентов, "съёмом" технического задания, проектированием и разработкой инфокоммуника-

ционного решения для клиента, так и оформлением документации, и ведением проекта на протяжении гарантийного и пост гарантийного периода. По сути, такой специалист совмещает функции инженера-проектировщика, так и менеджера по продажам. В некоторых компаниях обязанности менеджера по продаже и инженера-проектировщика чётко разграничены.

Стоит отметить, что на рынке появляется всё больше отечественных компаний, которые могут предложить сотрудникам пакет не хуже, а часто – даже привлекательней, чем иностранные компании.

Одной только материальной компенсации для мотивирования специалистов не достаточно. Интересный, перспективный проект, над которым работает топ-менеджер – и его уже практически невозможно "переманить". Для менеджера по продаже возможность самостоятельно планировать своё рабочее время, работать по гибкому графику и свобода действий – важные факторы при выборе места работы. Для "старожил" некоторые компании предлагают дополнительные условия – такие как повышение оклада "за выслугу лет", организация отдыха за границей, как для самих специалистов, так и для их семей, медицинская страховка, беспроцентный кредит на жильё и прочее.

#### Где искать?

Для привлечения молодых специалистов, выпускников, эффективно размещать объявления на сайтах по трудоустройству, представлять компанию на ярмарках вакансий, сотрудничать с центрами трудоустройства вузов. При поиске квалифицированных специалистов (инженера, менеджеры по продаже) хорошо работает размещение объявлений на "профессиональных" сайтах банкиров и специалистов сферы информационных технологий, прямой. Очень эффективно работают по привлечению менеджеров некоторые международные базы данных – своеобразные "визитницы" специалистов. И, конечно же, эффективны личные рекомендации работающих в данной сфере специалистов.

Зарботная плата по РФ в области "Начало карьеры/мало опыта" (рис. 4).

И к завершению хотелось бы сказать о непосредственно насущном, касающемся начинающих специалистов в области ИТ – технологий:

**Структура зарплат по опыту работы, область "Начало карьеры/мало опыта", 2010 г., тыс. руб.**



Рис. 4

Специалисты в IT сфере, не обладающие значительным опытом, выпускники учебных заведений или молодые люди, совмещающие ра-

боту и учебу, такие как помощники и стажеры получают в среднем 19 000 – 25 000 р. На наш взгляд это вполне приемлемый вариант для

начала карьерного роста, тем более перспективы продвижения вполне реалистичны и в отличие от большинства других отраслей, связь даже в период кризисных явлений, способна обеспечить стабильность работы своим сотрудникам.

**Литература**

1. Инфокоммуникации в РФ, 01 декабря 2010 года // [http:// www.br.ru](http://www.br.ru).
2. Обзор рынка труда в сфере инфокоммуникаций, 21 января 2011 г. // <http:// www.hh.ru>.
3. Инфокоммуникационный рынок труда в РФ, 25 января 2011 г. // <http:// www.superejob.ru>
4. Тенденции рынка труда в сфере инфокоммуникаций, Наталья Воскобойникова, 20 февраля 2011 г. // <http:// www.job.ru>.

