

А.С. Восков, С.В. Цыганов

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБСЛУЖИВАНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПУБЛИЧНОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ

Рассмотрен вопрос объединения современных беспроводных вычислительных сетей группы стандартов IEEE 802.11, 802.15 в единую гетерогенную беспроводную сеть. Поставлена задача "прозрачного" обмена данными внутри сети с учётом взаимного влияния сетевых узлов. Предложен метод решения задачи с помощью рассмотренных алгоритмов.

Ключевые слова: стандарты беспроводной связи, телекоммуникация, вычислительные сети, обмен данными, сетевые шлюзы, гетерогенные сети

Беспроводное сетевое взаимодействие посредством объединения различных беспроводных устройств в единую гетерогенную сеть является перспективным направлением мобильной телекоммуникации. Каждый из современных беспроводных стандартов разработан с учётом конкретных стандартов качества обслуживания. Для гетерогенной сети естественным является «прозрачный» обмен данными между устройствами [1, 2]. Публичная гетерогенная беспроводная сеть (ПГБС) – это сеть, состоящая из сегментов, функционирующих в едином безлицензионном диапазоне ISM согласно стандартов IEEE 802.11, 802.15. Сеть состоит из нескольких сегментов, каждый из которых функционирует по одному стандарту беспроводной связи, объединённых с помощью сетевых шлюзов. Сетевым шлюзом является узел стыковки одного беспроводного стандарта с одной стороны и другого – с другой стороны.

При развертывании публичной гетерогенной беспроводной сети возникает ряд проблем качества обслуживания [3, 4]. Первая из проблем – это необходимость осуществления настройки каждого беспроводного сетевого шлюза сети на работу с двумя или более конкретными беспроводными сетевыми стандартами. Вторая проблема вытекает из того, что рассматриваемые беспроводные сетевые стандарты функционируют в едином безлицензионном диапазоне частот ISM, поэтому могут оказывать существенное влияние друг на друга.

Вопрос автоматической настройки сетевых узлов [5, 6] и их взаимного влияния [7, 8] решён лишь в

L.S Voskov, S.V. Tsyganov

IMPROVING SERVICES IN A SMART PUBLIC HETEROGENEOUS WIRELESS NETWORK

The issue of consolidation of modern wireless (IEEE 802.11, 802.15) network standards into single heterogeneous network is described. Main problem of making such network smart is to organize data interchange inside the network "transparent" and to minimize coexistence collisions of wireless standards. The proposal is to solve the problem using described algorithms.

Keywords: wireless network standards, telecommunication, computer networks, data interchange, network gates, heterogeneous networks

рамках отдельных беспроводных стандартов, то есть сегментов гетерогенной беспроводной сети. Задачи автоматической настройки узлов и минимизации взаимного влияния смежных сегментов сети в рамках единой ПГБС не решены. Интеллектуальная ПГБС отличается от стандартной ПГБС тем, что она автоматически включает в работу каждый новый её узел, вне зависимости от сегмента сети, к которому этот узел подключается – без изменения настроек как узла этой сети, так и самой сети, а также обеспечивает минимизацию взаимного влияния сетевых узлов в рамках сети в целом.

Для решения задачи автоматической настройки сетевых узлов предложена модель расширения области действия данных сетевых протоколов на IP-несовместимые сети посредством организации программного модуля-посредника в обмене информацией (рис. 1).

Рассматриваемая модель предполагает организацию «виртуальных» сетевых IP-узлов, инкапсулируемых в сетевом шлюзе, с целью организации обмена данными между сетевыми IP сокетами и устройствами IP-несовместимых сетей. Автоматическая настройка в данном случае осуществляется не стандартными службами DHCP и ARP, а программным модулем-посредником, с уведомлением вышеназванных служб о проведённых изменениях. Также была предложена модель алгоритма автоматической настройки узлов в целом (рис. 2), с использованием ранее упомянутой модели алгоритма адаптации.

Алгоритм автоматической настройки основывается на принципе максимально возможного использо-

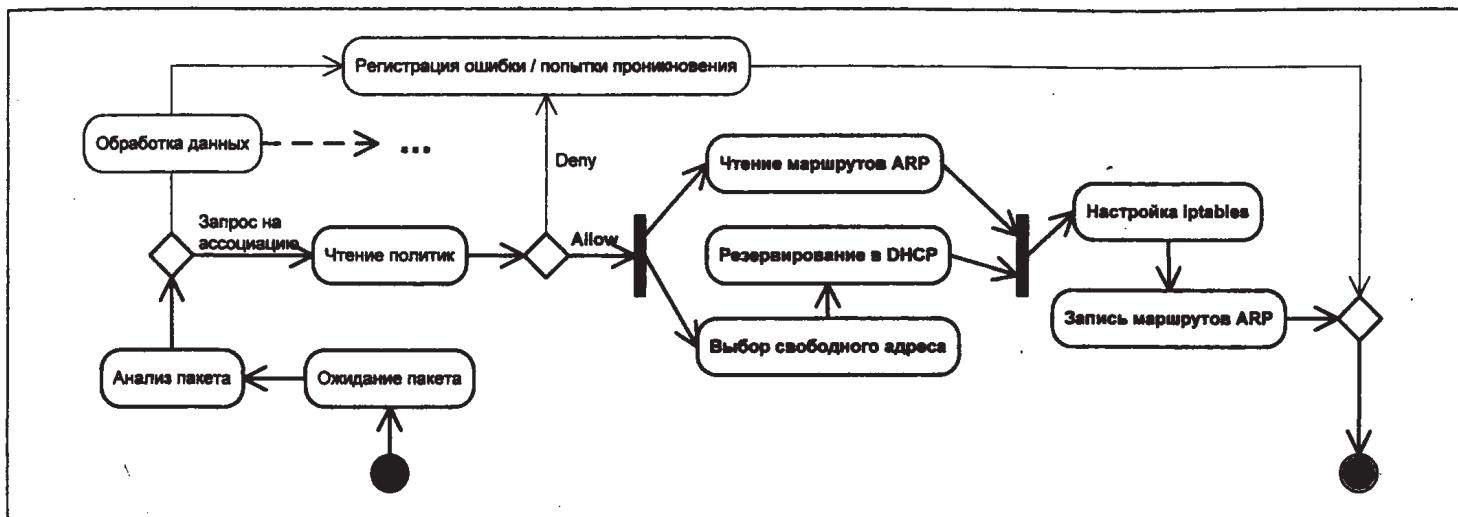


Рис. 1. Диаграмма протокола модуля-посредника для IP-несовместимых сетей

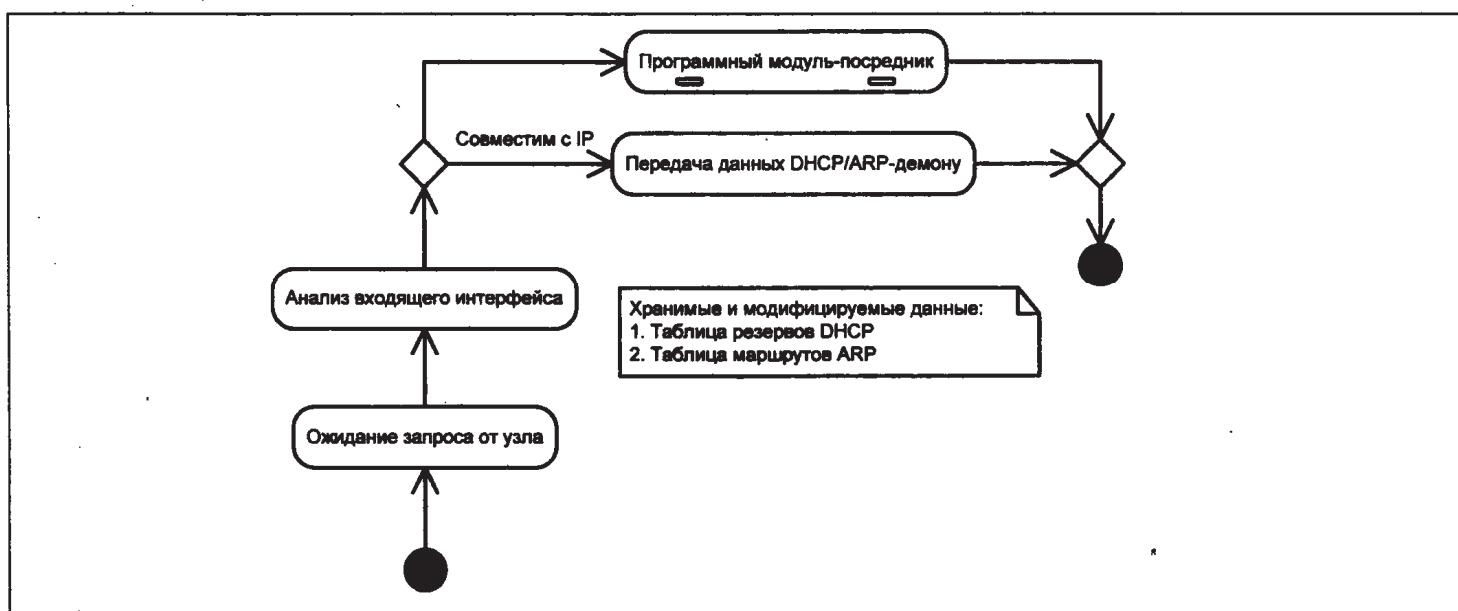


Рис. 2. Алгоритм автоматической настройки узлов в рамках единой гетерогенной беспроводной сети

вания стандартных IP-служб для организации такой настройки. В случае, если запрос поступает от узла IP-несовместимой сети, осуществляется передача данного запроса программному модулю-посреднику.

Для решения задачи минимизации взаимного влияния предложен интеллектуальный алгоритм выбора номера частотного канала, а также математическая модель состояния радиочастотного эфира. Рассматриваемый интеллектуальный алгоритм (рис. 3) отличается от типового алгоритма наличием итерационного процесса выбора сетевых стандартов. Алгоритм позволяет организовать передачу данных в беспроводной гетерогенной сети с уменьшенной вероятностью ошибок за счёт процесса последовательного запуска приёмо-передатчиков различных стандартов на частотах с уменьшенным значением уровня шумов и последовательной оценкой состояния радиоэфира после каждого такого включения. Поскольку в

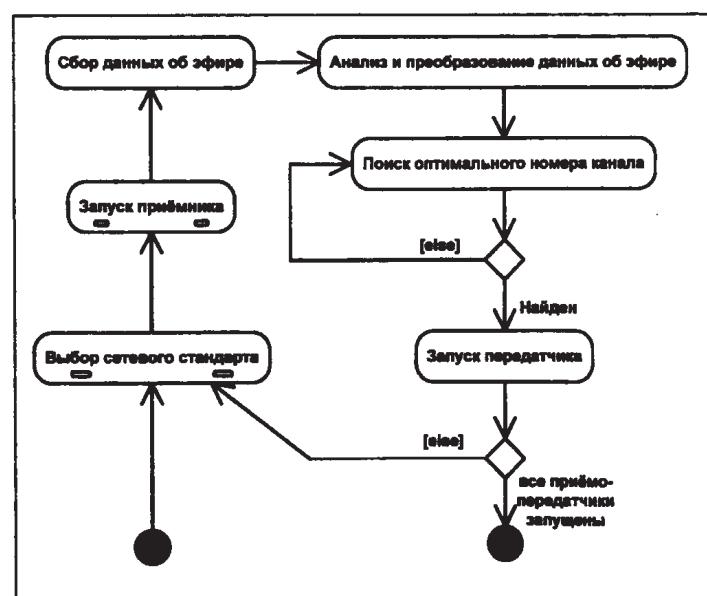


Рис. 3. Интеллектуальный алгоритм выбора номеров каналов

общем случае операционная обстановка является неопределённой, рассмотренный алгоритм позволяет добиться наилучшего результата, так как он оперирует реальными данными, полученными от устройств, оценивающих текущую операционную обстановку.

В проведении оценки состояния радиочастотного эфира ключевое место уделяется разработке модели оценки радиочастотного эфира. В качестве критерия взаимного влияния используется амплитудная энергетическая характеристика $E(f, \Delta f)$ паразитных сигналов (шумов, помех или конкурирующих станций) на канале с центральной частотой f и шириной Δf .

$$E(f, \Delta f) = \int_{f - \frac{\Delta f}{2}}^{f + \frac{\Delta f}{2}} e(f) df \quad (1)$$

В общем случае для каждого беспроводного сетевого стандарта набор значений частот $\{f\}$, а также ширина частотного канала Δf – уникальны. Для получения энергетической картины с точки зрения каждого конкретного используемого стандарта беспроводной связи предлагается методика аппроксимации полученных показаний $E(f, \Delta f)$ к конкретному стандарту связи. Оценочное устройство является дискретным, поэтому в качестве исходных данных о состоянии физической среды передачи данных (радиочастотного эфира) имеется набор дискретных значений (2) по соответствующим частотам оценочного устройства.

$$E(f_M, \Delta f_M) = \{E_M\}, M = \overline{M_1, M_2} \\ f_M = f_{M_1} + (M - M_1) \cdot \Delta f_M \quad (2)$$

где M – набор номеров частотных каналов с границами в M_1 и M_2 ; f_M – центральная частота частотного канала с номером M ; Δf_M – полоса частот, занимаемая одним приёмо-передающим устройством, равная шагу частотной сетки оценивающего приёмо-передающего устройства.

Необходимо получить набор дискретных значений (3) по соответствующим частотам стандарта связи, применительно к которому производится оценка состояния радиочастотного эфира.

$$E(f_K, \Delta f_K) = \{E_K\}, K = \overline{K_1, K_2} \\ f_K = f_{K_1} + (K - K_1) \cdot \delta f_K \quad (3)$$

где δf_K – шаг частотных каналов по стандарту устройства связи, для которого производится оценка состояния радиочастотного эфира.

Частотные сетки стандартов связи различны, то есть наборы центральных частот $\{f_M\}$ и $\{f_K\}$ частотных каналов приёмопередающих устройств различны, также различны значения ширины Δf_M и Δf_K каждого из частотных каналов. Таким образом, для проведения оценки состояния радиочастотного эфира необходимо решить задачу (4):

$$E(f_{K_i}, \Delta f_K) = \frac{\Delta f_M}{\Delta f_K} \cdot F(E(f_{M_j}, \Delta f_M)) \\ M_j = \overline{M_{j_1}, M_{j_2}} \quad (4)$$

Зависимость (4) представляет собой нормированную функциональную зависимость от набора значений (2) и носит дискретный характер. Функциональная зависимость связывает значения энергетической составляющей для значений из множества $\{f_K\}$ с дискретными значениями энергетической составляющей из множества $\{f_M\}$ при неравных в общем случае значениях Δf_M и Δf_K .

Для выяснения характера зависимости $F(E(f_{M_j}, \Delta f_M))$ были рассмотрены различные случаи соотношения интервалов Δf_M и Δf_K . Для каждого из случаев значения переменных, по которым будут производиться дальнейшие вычисления, различны. Графическая интерпретация общего случая представлена на рис. 4. Данный случай характерен для значений $\Delta f_K \geq 2\Delta f_M$. В общем случае имеет место перекрытие интервалом Δf_K одного или более кратных участков Δf_M .

Для значений ширины $\Delta f_K < 2\Delta f_M$ происходит вырождение по причине того, что не происходит перекрытия ни одного целого кратного интервала Δf_M . В рассматриваемых случаях интервал частот оцениваемого диапазона вырождается в правый Δf_R и левый Δf_L некратный участок – вырождение 1-го вида, рис. 5 а; либо в участок, находящийся посередине кратной зоны – вырождение 2-го вида, рис. 5 б.

Расчёт значений энергетической составляющей в общем случае должен производиться по закону (5).

$$F(E(f_{M_j}, \Delta f_M)) = \sum_{M_j=M_{j_1}}^{M_{j_2}} E(f_{M_j}, \Delta f_M) + \\ + \int_{f_{M_{j_1}} - \frac{\Delta f_M}{2}}^{f_{M_{j_2}} + \frac{\Delta f_M}{2} + \Delta f_K} e \cdot df + \int_{f_{M_{j_1}} - \frac{\Delta f_M}{2} - \Delta f_L}^{f_{M_{j_2}} + \frac{\Delta f_M}{2}} e \cdot df \quad (5)$$

Среди неизвестных значений в выражении (5) выступают интегральные суммы значения энергетической составляющей.

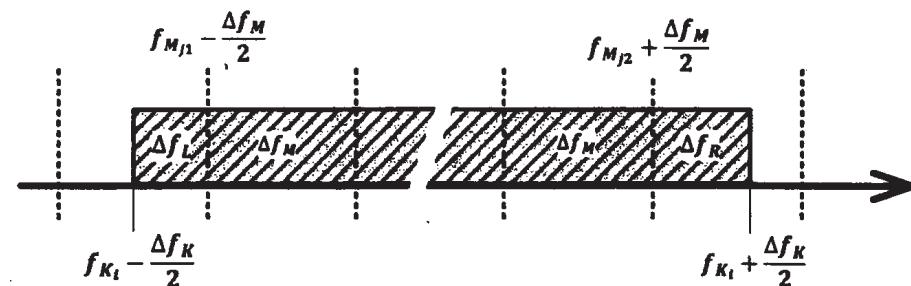


Рис. 4. Графическая интерпретация для общего случая

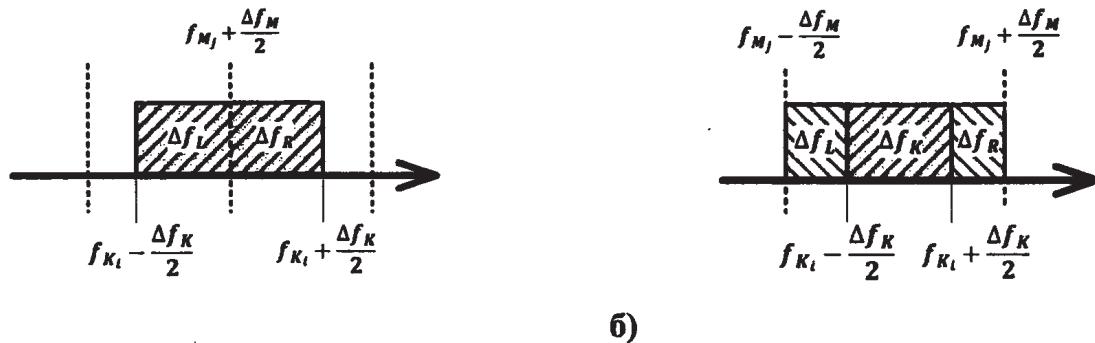


Рис. 5. Вырождения 1-го и 2-го вида

тической составляющей по некратным участкам слева Δf_L и справа Δf_R . Для поиска значений по некратным участкам слева Δf_L и справа Δf_R необходимо применить аппроксимационный алгоритм. Схемотехнические особенности стандартной схемы оценки энергетической составляющей, а именно, наличие полевого транзистора, работающего на границе режима отсечки, свидетельствуют о необходимости проведения экспоненциальной интерполяции. Однако из-за малых расхождений уровня амплитуды энергетической составляющей при плавном изменении частоты, что обусловлено физическими законами распространения радиоволн и гармоническими процессами, целесообразнее применить интерполяционный процесс 2-го порядка, как наиболее простой и точный алгоритм.

Тогда будет справедливо выражение (6) для приближенных вычислений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{f_{M_j} + \Delta f_B}^{f_{M_j} + \Delta f_A} e \cdot df \approx \tilde{E}(f_{M_j}, \Delta f_M, \Delta f_A, \Delta f_B) \\ -\frac{\Delta f_M}{2} \leq x_1 \leq x_2 \leq \frac{\Delta f_M}{2} \end{array} \right. \quad (6)$$

Используя соотношения (5) и (6) для функциональной зависимости, выражение (4) для общего случая можно переписать в виде (7). Для вы-

рождения 1-го вида – в виде (8), для вырождения 2-го вида – в виде (9).

$$\begin{aligned} E(f_{K_i}, \Delta f_K) = & \frac{\Delta f_M}{\Delta f_K} \left(\sum_{M_j=M_{j1}}^{M_{j2}} E(f_{M_j}, \Delta f_M) + \right. \\ & + \tilde{E}\left(f_{M_{(j1-1)}}, \Delta f_M, \left(\frac{\Delta f_M - \Delta f_L}{2}, \frac{\Delta f_M}{2}\right)\right) + \\ & \left. + \tilde{E}\left(f_{M_{(j2+1)}}, \Delta f_M, \left(-\frac{\Delta f_M}{2}, \Delta f_R - \frac{\Delta f_M}{2}\right)\right) \right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} E(f_{K_i}, \Delta f_K) = & \frac{\Delta f_M}{\Delta f_K} \left(\tilde{E}\left(f_{M_j}, \Delta f_M, \frac{\Delta f_M}{2} - \Delta f_L, \frac{\Delta f_M}{2}\right) + \right. \\ & \left. + \tilde{E}\left(f_{M_{(j+1)}}, \Delta f_M, -\frac{\Delta f_M}{2}, \Delta f_R - \frac{\Delta f_M}{2}\right) \right) \end{aligned} \quad (8)$$

$$E(f_{K_i}, \Delta f_K) = \frac{\Delta f_M}{\Delta f_K} \tilde{E}\left(f_{M_j}, \Delta f_M, \left(-\frac{\Delta f_M}{2} + \Delta f_L, \frac{\Delta f_M}{2} - \Delta f_R\right)\right) \quad (9)$$

Совокупная сложность алгоритма выбора номера частотного канала равна $O(n^2)$ вследствие применения процедуры сортировки значений.

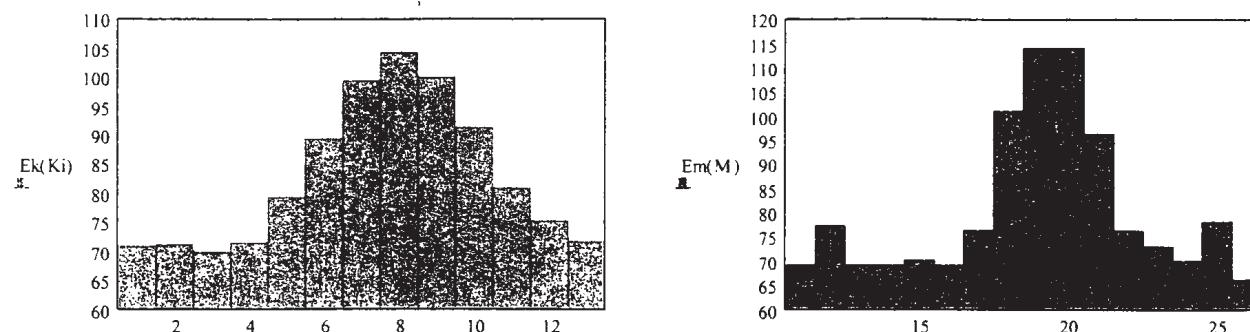


Рис. 6. Результат для стандарта IEEE 802.11 с использованием IEEE 802.15.4

С использованием приведенного алгоритма был рассмотрен расчёт в конкретных случаях, показывающий адекватность разработанной методики результатам натурного эксперимента. Результат одного из расчётов представлен на рис. 6.

Результаты расчёта показывают, что на 8-частотном канале ведёт передачу базовая станция, поэтому при расположении приёмопередающих устройств рассматриваемого стандарта следует выбрать канал с наименьшим уровнем энергии – для рассматриваемого случая, канал 3.

Рассмотренные примеры расчётов для всех случаев, описываемых математическим аппаратом разработанной модели, показали адекватность данной модели. Однако поскольку рассмотренный алгоритм оценки состояния радиочастотного эфира оперирует не абсолютными, а относительными величинами, то существует необходимость проведения экспериментальной верификации разработанного математического аппарата в нескольких различных операционных обстановках.

В настоящее время разработана платформа-образец интеллектуального беспроводного сетевого шлюза и ведётся экспериментальное исследование разработанных алгоритмов, рассмотренных в данной статье.

ЛИТЕРАТУРА

- Жданов В.С. Проблемы и задачи проектирования беспроводных сенсорных сетей // Информационные, сетевые и телекоммуникационные технологии: сборник научных трудов / под ред. проф., д.т.н. В.С. Жданова – М.: МИЭМ, 2009. 311 с.
- McCabe J.D. Network Analysis, Architecture and Design // Morgan Kaufmann 3rd Ed. – 2007.

- Elsevier B. V., 2007. – Режим доступа: <http://www.sciencedirect.com> – Загл. с экрана.
3. Lu Y. Adaptive and heterogeneous mobile wireless networks // A Thesis submitted to the Faculty of Purdue University. 2004.
 4. Щербо В.К. Стандарты взаимосвязи сетей. Взаимосвязи сетей: Справочник. – М.: Кудиц-Образ, 2000.
 5. Paruchuri V. Adaptive Scalable Protocols For Heterogeneous Wireless Networks: A Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy / Vamsi Paruchuri ; Louisiana State University. Louisiana, 2006. – Режим доступа : <http://etd.lsu.edu/docs> Загл. с экрана.
 6. Tan S. Heterogeneous Networks and Services : A dissertation for the degree of Doctof of Philosophy / S. Tan ; Technical Universty of Denmark. – Schultz DocuCenter, 2006 . – Режим доступа: <http://orbit.dtu.dk> – Загл. с экрана.
 7. Golmie N. Coexistence in Wireless Networks / Golmie N. – Cambridge: Cambridge University Press, 2006. – Режим доступа : <http://www.cambridge.org> – Загл. с экрана.
Coexistense in wireless nets (Cambridge www.cambridge.org).pdf
 8. IEEE P802.15 Wireless Personal Area Networks. Coexistence assurance: Working group project, 2009. – Режим доступа: <http://ieee802.org> – Загл. с экрана.

Восков Леонид Сергеевич,
канд. техн. наук, профессор,
каф. ВСиС МГИЭМ,
e-mail: voskov@narod.ru
Цыганов Сергей Викторович,
аспирант каф. ВСиС МГИЭМ;
e-mail: svts@yandex.ru