

УДК 004.725.5

Вильчинский М. А.; Сундучков К. С., *д.т.н.*

## К ВОПРОСУ О МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕРАКТИВНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЯХ

Вильчинский М. А., Сундучков К. С. До питання про методи управління в інтерактивних телекомунікаційних мережах. У статті розглянуто послуги, які будуть надаватися в інтерактивних телекомунікаційних мережах із застосуванням систем ІМТ-Advanced. Наведена класифікація послуг в залежності від необхідної швидкості передавання. Перераховано вимоги до якості послуг. Обговорюються науково-дослідні задачі, розв'язання яких дозволить покращити якість роботи інтерактивних телекомунікаційних мереж за рахунок управління.

**Ключові слова:** ІНТЕРАКТИВНА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНА МЕРЕЖА, ЯКІСТЬ ПОСЛУГ, ПАРАМЕТРИ ІНТЕРАКТИВНОЇ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ, МЕТОДИ УПРАВЛІННЯ

Вильчинский М. А., Сундучков К. С. К вопросу о методах управления в интерактивных телекоммуникационных сетях. В статье рассмотрены услуги, которые будут предоставляться в интерактивных телекоммуникационных сетях с применением систем ІМТ-Advanced. Приведена классификация услуг в зависимости от требуемой скорости передачи. Перечислены требования к качеству услуг. Обсуждаются научно-исследовательские задачи, разрешение которых позволит поднять качество работы интерактивных телекоммуникационных сетей за счет управления.

**Ключевые слова:** ИНТЕРАКТИВНАЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СЕТЬ, КАЧЕСТВО УСЛУГ, ПАРАМЕТРЫ ИНТЕРАКТИВНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ, МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ

Vilchynskyy M. A., Sunduchkov K. S. On the issue of control methods in an interactive telecommunication networks. The paper considers the services to be provided in an interactive telecommunication networks using ІМТ-Advanced systems. Service classification depending on data rate is presented. Quality of Service requirements are listed. Research problems are discussed the solution to any of which allows to improve the quality of operation of interactive telecommunication networks at the expense of control methods.

**Key words:** INTERACTIVE TELECOMMUNICATIONS NETWORK, QUALITY of SERVICE (QoS), PARAMETERS OF INTERACTIVE TELECOMMUNICATION NETWORK, CONTROL METHODS

**Введение.** В настоящее время основными тенденциями развития рынка телекоммуникаций как во всем мире так и в Украине являются замещение фиксированной связи мобильной, развитие широкополосного доступа. В то же время, одним из наиболее растущих является спрос потребителей на интерактивность, когда потребитель услуг не только получает определенные сервисы, но и имеет широкие возможности управления такими сервисами. Увеличивается также спрос и на конвергенцию услуг, при которой потребитель может получить много услуг посредством одной физической линии, одного терминального устройства. Таким образом, потребитель желает получить постоянный доступ к широкополосной интерактивной телекоммуникационной сети (ШИТС), принцип построения которой можно сформулировать так: получение абонентом всей необходимой ему информации по одной физической линии из единого информационного пространства [1].

Под единым информационным пространством здесь понимается пространство, объединяющее в себе все источники информации независимо от формы представления в них информации (данные, видео, аудио), их типа (библиотеки, телеканалы, базы данных, радио) и расположения (локальные, региональные, глобальные).

**Услуги в интерактивных сетях, их классификация.** Отличительной особенностью интерактивных сетей (ИС) является наличие обратного канала связи, позволяющего пользователю выбирать услуги, управлять ими, а также самому становиться участником процесса генерирования достаточно больших объемов информации (например, участие в видеоконференции). Такие услуги можно разбить на три группы: передача/прием данных; передача/прием видео; передача/прием аудио.

В рамках таких групп пользователям могут предоставляться различные виды услуг: социальная помощь через видеотелефон, быстрый Интернет (мультимедиа для школ), удаленный доступ к банкам данных, телепокупки, телеобучение, телеработа и т.д.

Интерактивная сеть (ИС) при распределенных информационных базах расположена на больших расстояниях и содержит в своем составе разнородные сети [2]. Такими сетями могут быть проводные (телефонные, кабельные, LAN) и беспроводные (мобильные, спутниковые, стационарные радиосети).

Учитывая тот факт, что в настоящее время одним из основных требований потребителя является доступность телекоммуникационных услуг везде и всегда, такой доступ в ИС возможно обеспечить с помощью систем мобильной связи IMT-2000, которые, согласно классификации Международного союза электросвязи (International Telecommunication Union, ITU) получили название IMT-Advanced [3] и известны как системы 4G (Fourth Generation) – системы 4-го поколения. Оригинальным и символическим есть название этих систем как **MAGIC**. Каждая буква этого названия определяет отличительные характеристики этого стандарта мобильной связи - **M**obile multimedia, **A**nytime anywhere, **G**lobal mobility support, **I**ntegrated wireless solution, and **C**ustomized personal service, что означает: мобильное мультимедиа, в любое время и везде, глобальная мобильная поддержка, интегрированные беспроводные решения и персонализация услуг [4].

IMT-Advanced в ИС является одной из самых масштабных составных сетей. В таких сетях скорости передачи данных с повышенными пиковыми уровнями для обеспечения более совершенных услуг и применений будут составлять 100 Мбит/с для высокой мобильности и 1 Гбит/с для низкой мобильности). Для разрабатываемых в настоящее время интерактивных гетерогенных телекоммуникационных сетей (ИГТС) скорость должна достигать 6 Гбит/с для предоставления 2000 услуг [5].

С технической точки зрения, наиболее правильным является разделение услуг в IMT-Advanced по потребляемым ими ресурсам (по требуемой скорости). Таких основных групп услуг можно выделить три: требующих *малых*, *средних* и *больших* ресурсов.

Услуги, которые требуют *малой* скорости передачи (от 14.4 Кбит/с до 3 Мбит/с), уже предоставляются в мобильных сетях различных поколений. Тем не менее, они останутся и в сетях IMT-Advanced. Среди этих услуг можно отметить следующие [6]: передача *голоса*; передача *текстов*; передача *файлов*; передача *снимков*; передача *новостей*.

Диапазон требуемых скоростей для приложений, требующих *средних* ресурсов составляет от 3 до 6 Мбит/с.

В сетях мобильной связи следующего поколения услуги, требующие *больших* ресурсов будут, очевидно, чрезвычайно востребованы, так как доминантное место в них будут услуги, в которых так или иначе задействовано видео. Вскоре, может быть, потребитель будет покупать не мобильный телефон с камерой, а камеру с мобильным телефоном, так как передача и прием видео станет преобладающим в мобильных сетях [7]. Для качественного предоставления таких услуг скорость передачи должна быть в диапазоне от 6 Мбит/с и больше. Например, для предоставления услуг интерактивного обучения или видео высокой четкости скорость передачи составляет 12 Мбит/с, для он-лайн видео игр – 20 Мбит/с.

И, наконец, скорость для “облачных сервисов” – до 1 Гбит/с.

Но практически основными услугами в IMT-Advanced, будут, очевидно, услуги, связанные с передачей видео (“виртуальная реальность”, видео по запросу, мобильное IPTV и другие) [8-14].

Поэтому, операторы должны сконцентрировать свои усилия на проектировании сетей IMT-Advanced, максимально адаптивных к передаче видео в различных услугах.

**Обеспечение качества услуг – одна из основных задач управления в телекоммуникационных сетях.** В ИС, предоставляющие широчайший спектр услуг, необходимо обеспечить своевременное и эффективное управления для обеспечения качественного, надежного предоставления многочисленных услуг.

Управление в интерактивных телекоммуникационных сетях в конечном счете направлено на обеспечение качества услуг, которое согласно определению, данному в Рекомендации ITU-T E.800, как «коллективное влияние характеристик услуг, которые определяют степень удовлетворения пользователя услуги».

В Рекомендациях E.800 и E.802 (февраль 2007 года) рассматриваются четыре подхода к определению качества услуг. В рамках этих подходов оцениваются уровни качества, которые: *описывают* ожидания пользователя (QoSR); *предлагаются* (декларируются) поставщиком услуг (QoSO); *реально обеспечиваются* поставщиком услуг (QoSD); *воспринимаются* пользователем (QoSE).

Основой принципов оценки качества обслуживания являются требования пользователя к QoS. В связи с тем, что ИС является распределенной сетью, состоящей из нескольких сетей [3], параметры и требования к таким сетям – это интегрированные параметры и требования, характеризующие и предъявляемые к составным сетям.

Рекомендация Y.1541 устанавливает соответствие между классами качества обслуживания и услугами [15]. К *классам 0 и 1* относятся услуги реального времени, чувствительные к джиттеру, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности (VoIP, видеоконференции), к *классам 2 и 3* – транзакции данных, характеризующиеся высоким уровнем интерактивности, например, сигнализация, к *классам 4 и 5* – услуги, допускающие низкий уровень потерь (короткие транзакции, массивы данных, потоковое видео, традиционные применения сетей IP).

В то же время, как показал анализ, существующие системы управления в сетях, основной задачей которых является обеспечение гарантированного качества отдельных услуг, не в состоянии решить поставленную цель, ориентируясь в основном на мониторинг параметров, а не на управление.

**Направления развития методов управления в телекоммуникационных сетях.** Интерактивная телекоммуникационная сеть представляет собой сложную систему, испытывающую влияние множества как внутренних, так и внешних факторов.

К внутренним динамически изменяющимся факторам относятся такие, как резкое увеличение нагрузки на различных участках сети; изменение местоположения абонентов или элементов телекоммуникационной сети; подключение новых источников нагрузки; выход из строя элементов, отдельных участков сети. Такие факторы могут привести к временным или постоянным изменениям характеристик и параметров сети: изменению маршрутов передачи информации, изменению статуса приоритетности передаваемой информации; возникновению перегрузок (в сетях с коммутацией пакетов – возникновению очередей и потере пакетов) на отдельных участках или в целом на сети, ухудшению качества обслуживания или даже полному прекращению предоставления услуг.

Влияние постоянных факторов необходимо устранять путем изменения модернизации оборудования, топологии сети, а влияние временных факторов может быть устранено путем осуществления эффективного управления сетью при наличии постоянного мониторинга контролируемых параметров [16].

Элементы управления сетью могут в себя включать: *рациональную настройку* параметров сетевого оборудования с целью недопущения бесконтрольного увеличения интенсивности входных потоков; *реализацию алгоритмов* управления очередями, оптимизированным к условиям работы сетевого оборудования и к условиям *SLA*; *оптимизацию путей* прохождения трафика через сеть; *максимизацию загрузки* дорогостоящих элементов сети при соблюдении заданных требований к качеству обслуживания потоков данных [17].

Разработаны рекомендации для отдельных способов борьбы с перегрузками. В частности, Рекомендация ИТУ-Т Y.1221 относится к управлению трафиком и управлению при перегрузке в IP-сетях [18]. Определены параметры потоков трафика, а также функции управления трафиком и управления при перегрузке, однако методы управления требуют дальнейшего изучения.

Цель обсуждаемых ниже работ общая: обеспечить необходимый показатель QoS/QoE, используя “среднее” оборудование в сети.

Существующие алгоритмы, такие как алгоритм произвольного раннего обнаружения (Random Early Detection, RED), а также его модификации позволяют предотвратить перегрузку сети путем превентивного отбрасывания пакетов для уведомления о возможной перегрузке источников TCP-соединения с помощью механизма сквозного адаптивного управления с обратной связью, что позволяет смягчить эффект от потери пакетов при больших нагрузках. Алгоритм явного уведомления о перегрузке (Explicit Congestion Notification, ECN) позволяет предупредить TCP-источник о начинающейся перегрузке сети путем маркировки (а не отбрасывания) пакетов [17].

Интерактивная телекоммуникационная сеть является гетерогенной. Поэтому, механизмы управления трафиком определяются не только управлением на уровне управления пакетами, но и на других уровнях. Так, при возникновении помех в сетях WIMAX, изменяются параметры модулирования, что приводит к снижению скорости передачи [19].

Объем цифровой информации, который растет за счет видеослужб высокой четкости (HD video) и объемного изображения, а также генерируемого пользователями контента, вскоре достигнет 1000 экзабайт (1 экзабайт =  $10^{18}$  байт в год) [20]. Такое, практически лавинообразное увеличение объема передаваемой информации создает на некоторых участках сети очереди в маршрутизаторах, которые, как известно, приводят к потерям пакетов, и вследствие этого, к ухудшению параметров QoS [21].

Вследствие того, что значительная часть видео будет передаваться как IPTV, становится актуальным проведение научно-исследовательской работы **«Создание модели архитектуры IPTV в интерактивных телекоммуникационных сетях, адаптивной к периодам наивысшей нагрузки»**. Необходимость в проведении такой работы определяется потребностью операторов снизить стоимость построения сети с использованием дорогостоящего оборудования, используя стандартное оборудование, позволяющее обеспечить требуемое качество услуг.

Задачи, которые необходимо решить для достижения данной цели: проанализировать существующие *типы построения* архитектур IPTV; установить понятие *пикового периода*; определить минимальный *набор параметров*, необходимых для мониторинга с целью выявления наступления пикового периода; создать *методику* предсказания (распознавания) пиковых периодов; установить минимальные *пороговые показатели* качества сервиса, ниже

которых нельзя опускаться в периоды высшей нагрузки; создать *модель* архитектуры IPTV, адаптивной к периодам наивысшей нагрузки.

Одним из способов борьбы с перегрузками является и оптимизация маршрута прохождения трафика [17]. В данное время некоторые компании, предоставляющие сервис IPTV, используют несколько серверов, с которых передается транспортный поток. Так, например компания, предоставляющая сервис под брендом КартинаТВ, предлагает подключение к пяти серверам (два в Северной Америке, два в Европе, один – на Ближнем востоке). Клиент, находящийся например, в Америке, может выбирать из двух доступных ему серверов: USA WEST COAST и USA EAST COAST. Однако, такое переключение возможно только в ручном режиме.

В связи с этим, становится актуальным проведение научно-исследовательской работы: **«Создание методики автоматического выбора сервера предоставления услуг IPTV в глобальных интерактивных телекоммуникационных сетях, обеспечивающее заданный уровень характеристик качества восприятия»**. Потребность в проведении такой работы вызвана желанием пользователей получить непрерывный сервис, требующий минимального вмешательства со стороны пользователя, а также желанием операторов обеспечить предоставление сервиса с установленным качеством сервиса.

Появляется необходимость создания методики изменения сервера при ухудшении характеристик качества передаваемого видео. Такая методика должна позволять проводить оценку качества передаваемого видео изображения, сравнивать его с пороговым значением и по результатам принимать решение о выборе другого сервера. Причем, подключение должно осуществляться к той самой передаче, которую смотрел пользователь.

В рамках данной работы необходимо решить следующие задачи: определить *оптимальный метод* измерения параметров передаваемого потока; установить *минимальные пороговые значения* качества видео; определить *последовательность* выбора сервера; определить *алгоритм* подключения/отключения к/от сервера.

Для качественной и бесперебойной передачи IPTV высокого качества (HDTV) необходимо обеспечить скорость передачи информации на уровне 12 Мбит/с. Однако, даже в сетях 4G скорость передачи может снижаться, что есть причиной борьбы с различными факторами, например, с интерференцией. Поэтому, целесообразно провести научно-исследовательскую работу, направленную на выбор (оптимизацию) параметров сети, например скорости передачи сигнала, при ухудшении передачи (ухудшении показателя QoS/QoE): **«Усовершенствование системы управления параметрами интерактивной телекоммуникационной сети для поддержания требуемых параметров качества восприятия услуг IPTV»**. Целью работы является исключение зависаний и замираний при видеотрансляции.

В рамках данной работы необходимо решить следующие задачи: *выбор метода* проведения анализа качества восприятия IPTV; *моделирование* соответствующей архитектуры системы доставки IPTV с разными скоростями передачи; *создание методики* выбора необходимой скорости передачи; *возврат* к нормальной (высокой) скорости передачи после улучшения качества восприятия услуг IPTV.

Беря во внимание тот факт, что одним из основных преимуществ услуг IPTV является его интерактивность (просмотр архивных программ, установка задержки вещания, запись передач, выбор скорости передачи, видео по требованию), возникает необходимость дальнейшего повышения интерактивности, что также повысит уровень качества восприятия IPTV в целом.

Одним из возможных путей повышения интерактивности может быть услуга автоматического переключения каналов при начале трансляции рекламных вставок. Потребность в такой услуге показана в [22].

Актуальным является проведение научно-исследовательской работы **«Оптимизация системы управления контентом IPTV в интерактивных телекоммуникационных сетях»**, в рамках которой необходимо решить следующие задачи:

– провести анализ существующих методов анализа контента, например, для анализа кадра необходимо провести исследование возможности применения математического аппарата, который используется в методике вычисления VQM, а именно, определение границ объектов с помощью оператора Собеля, вычисляющего градиент яркости изображения в каждой точке кадра. После чего полученные границы объектов можно использовать для определения начала рекламных роликов (используя сравнение с эталонным кадром/меткой канала, меткой ограничения возрастной аудитории, меткой трансляции рекламного ролика);

– создать методику анализа контента на основе аналитическо-статистических методов, используя временные и статистические параметры;

– создать методику переключения каналов.

В последние десятилетия возможности компьютерного и телекоммуникационного оборудования, элементной базы возросли настолько, что позволяют реализовывать чрезвычайно сложные решения на оборудовании, имеющем небольшие размеры. Ярким примером этому есть система мобильной связи CDMA, которая еще недавно не могла быть реализована из-за необходимости проведения сложных вычислений для обеспечения ее работы с кодовым уплотнением каналов [19].

Терминальные устройства получают все более широкие возможности участия в мониторинге параметров и управления сетью. Поэтому, необходимо разрабатывать механизмы управления сетью, в которых максимально бы участвовали терминальные устройства. Вследствие этого, актуальным является проведение научно-исследовательской работы **«Создание модели интерактивной телекоммуникационной сети, повышающей уровень управления с помощью терминальных устройств»**. Проведение такой работы позволит обеспечивать заданные параметры качества, так как информация для управления сетью будет поступать от терминальных устройств, непосредственно оценивающих качество услуг в данный момент времени.

В рамках данной работы необходимо задачи: проведения *анализа* действующих механизмов управления; определение *оптимального набора данных* о параметрах, которые можно получать от терминальных устройств и использовать в механизме управления сетью; определение *оптимального уровня* задействования терминальных устройств в механизме управления сетью; определение *параметров сети*, которые могут управляться терминальными устройствами; *моделирование* соответствующей архитектуры сети.

Контент-провайдер может использовать ресурсы сети для передачи своей информации без предварительного заключения соглашения с провайдером об обеспечении заданного уровня качества. Основная причина этому – передача видеопоследовательности от провайдера к потребителю происходит через многочисленные сети, принадлежащие разным операторам и расположенным, зачастую в разных странах и заключение таких соглашений становится практически нереализуемой задачей. Однако в интересах контент-провайдера - обеспечить поддержание заданного качества услуг, поэтому крайне желательно получать информацию от потребителей о качестве принимаемого сигнала. Поэтому, становится актуальным проведение научно-исследовательской работы **«Оптимизация обратной связи в интерактивных телекоммуникационных сетях с целью анализа качества»**

*предоставляемых услуг цифрового телевидения для ее дальнейшего повышения». В рамках такой работы необходимо решить задачи: определение минимального объёма информации о параметрах видеопоследовательности, возможной для передачи; определение минимального объёма информации о параметрах видеопоследовательности, возможной для использования при управлении сетью; определение метода, времени, порядка передачи информации; определение порядка использования переданной информации.*

Одной из основных причин, влияющих на качество трансляции IPTV в интерактивных телекоммуникационных сетях, есть потеря пакетов, что становится причиной замирания, рассыпания изображения и т.д. Битовые ошибки в IPTV особенно нежелательны, так как неисправляемые битовые ошибки приводят к потерям пакетов вследствие проверки CRC. Так, уровень битовой ошибки  $10^{-6}$  может привести к уровню потерь пакетов  $10^{-3}$ , то есть каждую минуту будет “рассыпаться” изображение [23].

Одним из методов исправления ошибок есть ретрансляция потерянных пакетов. Однако, вследствие того, что потери пакетов могут вызывать различные искажения в зависимости от типа транслируемой передачи (например, потеря пакета при трансляции футбольного матча вызовет большее искажение картинки, нежели при трансляции пресс-конференции), то и необходимость в ретрансляции различна. Целесообразно с помощью методов интеллектуального распознавания транслируемых программ создать методику, которая будет подавать запросы на ретрансляцию пакетов в случае их потери в зависимости от типа передачи. Таким образом, может быть снижена нагрузка на сеть путём уменьшения количества запросов и ретранслируемых пакетов. Поэтому, становится актуальным проведение научно-исследовательской работы *«Создание интеллектуальной методики ретрансляции пакетов в интерактивных телекоммуникационных сетях»*. В рамках данной работы необходимо решить задачи: *исследование зависимости ухудшения качества от потерь пакетов при трансляции программ, имеющих разный уровень динамичности сцен; разделение программ на типы по динамичности; определение допустимого уровня потери пакетов для каждого типа программ; создание методики определения типа программ; создание методики ретрансляции пакетов в зависимости от типа программы.*

**Заключение.** В результате проведенного анализа ухудшения качества предоставления услуг в интерактивных телекоммуникационных сетях и причин, их вызывающих, сформулирован ряд исследований, выполнение которых позволит поднять качество работы интерактивных телекоммуникационных сетей путем совершенствования управления в них.

Подробно обсуждены конкретные задачи, которые необходимо решить при выполнении указанных работ и выявлены среди них общие: *проведение анализа качества предоставляемого сервиса интерактивной телекоммуникационной сетью; определение уровня использования терминальных устройств в формировании управленческих решений; определение сигналов и их параметров, по которым следует принимать управленческие решения; разработка механизмов реализации управленческих решений.*

### Литература

1. Хлебников В. И. Принцип построения широкополосной интерактивной сети [Электронный ресурс] / В. И. Хлебников, С. Г. Валов // Режим доступа : <http://www.nextnet.ru/doc/v1.pdf>
2. Сундучков К. С. Интеллектуальная составляющая интерактивной гетерогенной телекоммуникационной сети / К. С. Сундучков, П. Н. Яландин, В. И. Шестак // Наукові записки УНДІЗ. – 2009 – №1(9). – С. 78-85.

3. Naming for International Mobile Telecommunications [Електронний ресурс] // Resolution ITU-R 56. // Режим доступу : <http://www.itu.int/pub/R-RES-R.56-2007>
4. Jawad Ibrahim. 4G Features [Електронний ресурс] / Ibrahim Jawad // Режим доступу: [http://info.biz.hr/Типо3/типоз\\_01/dummy-3.8.0//fileadmin/Mirko\\_Brand/4G%20vizija%20razvoja%20do%202010.pdf](http://info.biz.hr/Типо3/типоз_01/dummy-3.8.0//fileadmin/Mirko_Brand/4G%20vizija%20razvoja%20do%202010.pdf)
5. Сундучков К. С. Математическая постановка и решение оптимизационной задачи для телекоммуникационной сети / К. С. Сундучков // Системный анализ и информационные технологии. Материалы XI Международной конференции. ИПСА – 2009.
6. Mihaela Ulieru. Lessons for Next Generation Internet we should learn from the wireless experience. [Електронний ресурс] /Ulieru Mihaela // Режим доступу: [http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/publications/Library/WWRF\\_Library\\_20.pdf](http://www.wireless-world-research.org/fileadmin/sites/default/files/publications/Library/WWRF_Library_20.pdf)
7. Гольшко А. В. Мобильный Интернет: навстречу клиентоцентричной модели / А. В. Гольшко // Электросвязь. – 2010. – № 4. – С.28-33.
8. Applications of 4G systems [Електронний ресурс] / Режим доступу: <http://latestemergingtechnology.blogspot.com/2009/09/applications-of-4g-systems.html>
9. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. / Гепко И. А, Олейник В. Ф, Чайка Ю. Д., Бондаренко А. В. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.
10. 4G Wireless – The Magic Wand. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.dijiuyishu.com/archives/303>
12. Контент для сетей мобильной связи 4G [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://connect4g.narod.ru/content\\_4g/](http://connect4g.narod.ru/content_4g/)
13. Попов С. А. Куда эволюционируют мобильные услуги / С. А.Попов // Вестник связи. – 2009. – № 11. – С. 26-29.
14. Paul Kapustka. 4G Killer Apps: A Top Five [Електронний ресурс] / Kapustka Paul // Режим доступу: [http://www.pcworld.com/article/195500/4g\\_killer\\_apps\\_a\\_top\\_five.html](http://www.pcworld.com/article/195500/4g_killer_apps_a_top_five.html)
15. Современные проблемы науки: эволюция и конвергенция в телекоммуникациях. [Електронний ресурс] // Режим доступу: [http://www.do.sibsutis.ru/magistr/courses\\_work/ekt\\_work/lec2.htm](http://www.do.sibsutis.ru/magistr/courses_work/ekt_work/lec2.htm)
16. Романов А. И. Основы теории телекоммуникационных сетей: учебн. пособие для ВУЗ-в / А.И. Романов. – К.: НТУУ «КП», 2002. – 152 с.
17. Кудзиновская И. П. Анализ методов обеспечения качества обслуживания в высокоскоростных компьютерных сетях [Електронний ресурс] / И. П. Кудзиновская // Режим доступу: <http://masters.donntu.edu.ua/2010/fkita/tishenko/library/article1.htm>
18. Етрухин Н. Н. Качество обслуживания «От конца до конца» [Електронний ресурс] / Н. Н. Етрухин // Режим доступу: [http://infospy.ru/Articles/article\\_storyid\\_2408.html](http://infospy.ru/Articles/article_storyid_2408.html)
19. Вишневецкий В. М. Энциклопедия WIMAX. Путь к 4G / В. М. Вишневецкий, С. Л. Портной, И. В. Шахович. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
20. Шалагинов А. В. Основные направления создания универсальной инфокоммуникационной инфраструктуры на базе передовых технологий / А. В. Шалагинов // Электросвязь. – 2010. – № 8. – С. 12-13.
21. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учебник для вузов [3-е издание] / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб.: Питер, 2006. – 958 с.
22. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://mp3forum.com.ua/showtopic8684.html>
23. John McClure. IPTV Quality and Service Assurance Solutions/ McClure John, Fierbaugh Marty [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.teamlightbulb.com/McClure%20Fierbaugh%20IneoQuest%20Cisco%20WED%201015%201035%20AM.pdf>