

**МЕТОД ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ
З КОНТРОЛЕМ ЗАТРИМОК ПО ІР-МЕРЕЖІ**

Тихонова О.В.

*ОНАЗ ім. О.С.Попова, 65029, м. Одеса, вул. Ковальська, 1
elena.tykhonova@onat.edu.ua*

**МЕТОД ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ
С КОНТРОЛЕМ ЗАДЕРЖЕК ПО ІР-СЕТИ**

Тихонова Е.В.

*ОНАС им. А.С.Попова, 65029, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1
elena.tykhonova@onat.edu.ua*

**METHOD OF REAL TIME DATA TRANSMISSION
WITH DELAY CONTROL OVER IP-NETWORK**

Tykhonova O.V.

*O.S.Popov ONAT, 65029, 1 Kovalska St., Odessa 65029, Ukraine
elena.tykhonova@onat.edu.ua*

Анотація. Розглядається метод синхронного передавання даних реального часу (мови, відео тощо) з контролем затримок по пакетних мережах, які взаємодіють між собою за Інтернет протоколом IP.

Ключові слова: дані реального часу, комутація пакетів, мережі наступного покоління, QoS, QoE.

Аннотация. Рассматривается метод синхронной передачи данных реального времени (голос, видео) с контролем задержек по пакетным сетям, взаимодействующим между собой по Интернет протоколу IP.

Ключевые слова: данные реального времени, коммутация пакетов, сети следующего поколения, QoS, QoE.

Abstract. We consider a method for synchronous transmission of real time data (voice, video) with delays control over packet based networks interacting by the Internet Protocol IP.

Keywords: real time data, packet switching, next generation networks, QoS, QoE.

Світова галузь телекомунікацій досягла видатних успіхів, головним з яких є сучасна мережа Інтернет. Згідно з відомою концепцією Міжнародного союзу електрозв'язку (International Telecommunication Unite – ITU), мережі наступного покоління (Next Generation Networks – NGN) мають інтегрувати переважну більшість послуг на базі Інтернет протоколу (IP) [1]. Мультисервісна платформа мереж NGN на основі IP (IP Multimedia Subsystem –IMS) є певним компромісом між історично утвореною світовою інформаційною інфраструктурою та новими викликами часу стосовно як об'єктивних технічних вимог до якості обслуговування (Quality of Service – QoS), так і суб'єктивного сприйняття якості послуг кінцевими абонентами мережі (Quality of Experience – QoE) [2].

Однією з невирішених проблем надання мультимедійних послуг поверх IP є забезпечення вимог QoS при передаванні трафіка реального часу (мовного, відео тощо). Ця проблема виникає внаслідок випадкових варіацій затримок передавання IP-пакетів та непередбачуваних втрат пакетів у разі перевантаження окремих ланок транспортного ланцюга. Ці фактори призводять до погіршення якості відтворення мови або зображення, нештатних розривів логічного з'єднання кінцевих абонентів, уповільнення динаміки двостороннього або багатостороннього аудіо- відеоспілкування [3].

Удосконалення транспортної функції мережі NGN йде шляхом підвищення швидкості передавання даних на основі технології когерентних комунікацій (Coherent Optical Communications – COC) [4], модифікації технології MPLS у вигляді транспортного профілю MPLS-TP [5], динамічного керування інформаційними потоками, спрямоване на адаптацію

мережі до конкретних умов функціонування на основі сучасних математичних методів моделювання мереж. Одним з підходів у цьому напрямі є концепція програмно-конфігурованих мереж (Software Defined Networks – SDN), яка активно розвивається в останні роки [6].

Відомі підходи до керування телекомунікаційними системами і мережами переважно орієнтовані на максимальне використання потенціалу впроваджених технологій і стандартизованих протоколів. Передавання трафіка реального часу з гарантованою якістю обслуговування потребує резервування ресурсів і встановлення віртуальних з'єднань між термінальними об'єктами мережі. За таких умов, передавання мультимедійних даних шляхом багаторівневої інкапсуляції пакетів є недостатньо ефективним [7]. Необхідні пошуки нових принципів пакетного передавання багатопродуктових цифрових потоків по IP-мережі, які забезпечують ефективний контроль і обмеження часових затримок сегментів даних реального часу, спрощують міжрівневу взаємодію і зменшують навантаження каналів службовою інформацією.

Метою даної статті є розробка методу синхронного передавання даних реального часу з контролем затримок по пакетних мережах, які взаємодіють між собою за Інтернет протоколом IP.

Сучасні телекомунікаційні мережі реалізують два основні принципи передавання даних: синхронне передавання за методом комутації каналів та асинхронне передавання за методом комутації пакетів [8]. Методи комутації каналів, значною мірою, базуються на технології синхронних оптичних мереж SONET/SDH, які використовують часове ущільнення каналу зв'язку (Time Division Multiplexing – TDM) і застосовуються переважно у сучасних телефонних мережах загального користування (ТфЗК) для мовного зв'язку в режимі реального часу. Мережі, що будуються за принципом комутації каналів, як правило, орієнтовані на з'єднання за деяким протоколом сигналізації. Зокрема, в ТфЗК використовується загальноканальна сигналізація ЗКС-7 [9]. Головна перевага методів комутації каналів – це високі гарантії якості обслуговування. Наприклад, для двостороннього спілкування телефонних абонентів ТфЗК затримка передавання даних в один кінець не має перевищувати 100 мс [10]. Забезпечення вимог QoS у мережах з комутацією каналів забезпечується за рахунок резервування пропускної здатності по всіх ланках віртуального з'єднання кінцевих абонентів. Так, за європейським стандартом цифрової телефонії, телефонний зв'язок у мережі ТфЗК має здійснюватись по віртуальному каналу E0, який складає 64 кбіт/с. У США та Канаді для цифрової телефонії використовується канал T0, який складає 56 кбіт/с [10]. Резервування ресурсів каналу має два основні недоліки. Перше – необхідність попереднього встановлення з'єднання за протоколом сигналізації. Це потребує певного часу, а також тимчасового утримання ресурсів на етапі встановлення з'єднання, незалежно від того, чи буде це з'єднання успішно встановлено, чи ні. Другий недолік – монопольне утримання ресурсів каналу продовж усього сеансу, незалежно від того, чи використовується цей канал на повну потужність, чи ні. Внаслідок цього, телефонне спілкування по каналах з часовим ущільненням TDM має значно вищу собівартість порівняно з методами пакетної комутації даних, властивих сучасній мережі Інтернет.

Методи пакетної комутації використовують асинхронне статистичне мультиплексування пакетів (Statistical Packet Multiplexing – SPM), яке здійснюється переважно на каналному, мережному і транспортному рівнях моделі OSI [8]. Найбільш популярними методами пакетної комутації каналного рівня є Ethernet, Token Ring (TR), Fiber Distributed Data Interface (FDDI), Asynchronous Transfer Mode (ATM), Frame Relay (FR). Комутація пакетів на мережному рівні OSI здійснюється за протоколами IPv4 та IPv6. Базовими протоколами транспортного рівня є TCP та UDP; перший використовується шляхом встановлення логічних TCP-з'єднань для високонадійного передавання файлових даних, які не є критичними до часових затримок; другий – в дейтаграмному режимі (без встановлення з'єднання) для передавання даних реального часу (мови, відео тощо), критичних до часових затримок. При передаванні по протоколу UDP, сегменти даних реального часу додатково інкапсулюються у сегменти протоколу RTP (Real-time Transport Protocol), який використовується разом з протоколом

RTCP (RTP Control Protocol). Фактично, це означає, що дані реального часу передаються на прикладному рівні стека TCP/IP.

Значних зусиль у розвитку методів пакетної комутації доклала компанія Cisco, яка протягом останніх десятиліть розробила і запропонувала на ринок такі інноваційні продукти, як технологія однонаправленого транспортного кільця Packet over SONET/SDH (PoS, 1999), [11]; технологія двонаправленого транспортного кільця DPT/RPR (2004) [12]; технологія оптичних транспортних мереж OTN (G.709/Y.1331, 2012).

Асинхронне статистичне мультиплексування за методом пакетної комутації дозволяє значно збільшити ефективність використання смуги пропускання каналу, і там самим, здешевити собівартість одиниці інформації, що передається по каналу зв'язку. Цей фактор став вирішальним у швидкому впровадженні комп'ютерної мережі Інтернет і поширенні її застосування у різних напрямках, зокрема, для передавання мови та відео, незважаючи на очевидні проблеми, які виникають при цьому.

Асинхронне передавання окремих пакетів не гарантує їхню своєчасну доставку, що є особливо відчутним при передаванні даних реального часу. Для боротьби з цим недоліком, вже починаючи з 90-х років, було запропоновано достатньо значну кількість методів, протоколів і технологій: протоколи резервування ресурсів (RSVP, NSIS); методи прискореного просування пакетів за технологією (MPLS) і потокової маршрутизації (Flow State Aware routing – FSA, SDN); технології, які використовують віртуальні канали (ATM, FR); застосування механізмів TCM (Tandem Control Monitoring) для взаємодії між різними автономними системами (AS) з метою підтримки QoS.

Ще однією проблемою передавання мови по пакетних мережах поверх IP є низька ефективність використання смуги пропускання каналу внаслідок принципів обмежень на довжину голосового фрейма. Первинний (неутиснений) аудіосегмент неможливо збільшувати у розмірі більш ніж 40...100 байт, оскільки це потребує дуже значного часу для його накопичення у буфері. Тому при передаванні коротких сегментів аудіоданих по стеку TCP/IP з багаторівневою інкапсуляцією даних співвідношення корисної інформації в аудіосегменті до загальної довжини фрейма каналного рівня зменшується до рівня 30 ... 50 %, [7]. Часткове вирішення цієї проблеми досягається агрегацією декількох аудіосегментів в одному IP-пакеті, якщо така агрегація є можливою в конкретному випадку. Однак, незважаючи на численні спроби вирішити проблему забезпечення вимог QoS при передаванні мови поверх IP, ця проблема і досі залишається актуальною. Свідченням цього є наявність двох достатньо самостійних мереж – телефонної мережі ТфЗК та мережі Інтернет, які поки що не можуть бути об'єднані в одну спільну пакетну мережу.

В основу розв'язання поставленого в даній статті завдання синхронного передавання даних реального часу по пакетній мережі покладено трирівневу модель взаємодії відкритих систем, яку запропоновано в інтегрованій технології телекомунікацій UA-ІТТ (модель ІТТ) [13, 14]. Згідно моделі ІТТ, транспортна функція мережі здійснюється на перших двох рівнях:

- а) рівень фізичного з'єднання PLL (Physical Link Layer);
- б) рівень мережного транспорту NTL (Network Transport Layer).

Рівень PLL забезпечує двонаправлену передачу безперервного неструктурованого потоку байт між суміжними вузлами мережі (наприклад, між двома комутаторами). Для реалізації цього рівня розроблено спеціалізований мережний адаптер [15].

Рівень NTL за допомогою спеціальних синтаксичних знаків – тегів розмітки потоку – інтерпретує послідовний потік байт (що надходить з рівня PLL) як структурований, а саме: на рівні NTL з потоку байт виділяються окремі сегменти команд (CS) і сегменти даних (DS); це дозволяє гнучко формувати й аналізувати структуру потоку, у тому числі динамічно вставляти у синхронні тайм-слоти сегменти даних реального часу. Передавання сегментів реального часу через синхронні тайм-слоти забезпечує контрольоване обмеження затримок передавання.

Інтегрована технологія телекомунікацій UA-ІТТ потребує повної заміни стека TCP/IP на новий стек протоколів відповідно до моделі ІТТ, у тому числі, використання спеціалізованих мережних адаптерів. З оглядом на це, технологія UA-ІТТ орієнтована на імплементацію у більш віддалених майбутніх поколіннях конвергентних мультисервісних мереж.

У даній статті запропоновано частково застосувати принцип структуризації безперервного потоку байт за допомогою тегів розмітки на існуючих IP-мережах з типовими інтерфейсами каналного рівня. Сутність даного способу пояснимо на прикладі технології каналного рівня Ethernet [16]. Аналогічним чином, даний спосіб може бути застосований для інших технологій каналного рівня (ATM, FR тощо).

Нині Ethernet є однією з найбільш часто використовуваних телекомунікаційних технологій. Тим не менш, існують деякі питання щодо забезпечення якості обслуговування потоків реального часу на каналному рівні в локальній мережі Ethernet. З іншого боку, концептуально новий підхід до керування потоками мультимедійних даних технології UA-ІТТ [14] передбачає впровадження нового типу мережних інтерфейсів, які відповідають рівню фізичного з'єднання моделі ІТТ.

На рис.1 проілюстрована концепція керування потоком даних ІТТ у мережі Ethernet. Будь-які два суміжні маршрутизуючі комутатори пакетної транспортної мережі (RS1 і RS2, рис.1) з'єднані однією або декількома послідовними лініями зв'язку. По кожній окремій послідовній лінії зв'язку суміжні комутатори взаємодіють за допомогою двох звичайних інтерфейсів Ethernet.

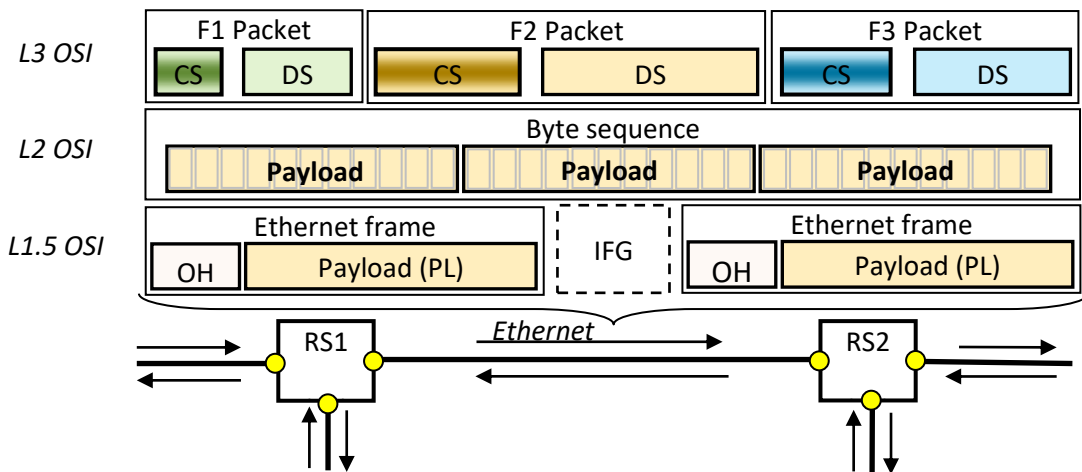


Рисунок 1 – Передавання трафіка ІТТ за допомогою кадрів Ethernet

По каналу постійно циркулює потік кадрів Ethernet з певною частотою F і розміром фрейма S , незалежно від того, чи дані дійсно передаються по каналу, чи має місце неінформативне заповнення кадру. Ці кадри виконують функцію синхронних транспортних модулів (STM). Корисне навантаження кадрів Ethernet утворює послідовний неструктурований потік байт (Byte sequence, рис. 1). Середня швидкість потоку байт на рис.1 може бути розрахована як деяка функція f від F , S , а також від службової інформації фрейма OH та міжкадрового інтервалу IFG : $f_0 = f(F, S, OH, IFG)$.

Послідовний потік байтів, який відповідає рівню L2 OSI, надалі оброблюється відповідно до принципу динамічної комутації потоків (DFS) технології ІТТ як структурована послідовність сегментів команд (CS) і сегментів даних (DS), що відповідає рівню L3 OSI (рис. 1). Кожна суміжна пара CS і DS представляє собою віртуальний динамічний пакет певних потоків (позначених на рис. 1 як F1, F2, F3).

Структуризація загальної послідовності байт на окремі сегменти команд і даних здійснюється за рахунок двох однобайтових метакоманд: розділювач команд "11111111" (FF);

розділювач даних "00000000" (00). Для розпізнавання байт «FF» або «00» у сегментах даних застосовується механізм байт стаффінга: для заміни символів даних "FF" і "00" зарезервовано дві команди ("FF01" і "FF02").

Для забезпечення передавання мультимедійних даних TDM у межах динамічного потоку пакетів рівня L3 (рис. 1) розроблено механізм метасинхронного виділення часового інтервалу (рис. 2). Потоки даних реального часу (F1...F4, рис. 2) розміщені в тайм-слотах відповідних віртуальних каналів. Це дозволяє гарантувати обмеження затримки при передаванні сегментів даних у режимі реального часу. Різноманітні частоти появи сегментів різних потоків призводять до появи невикористаних часових інтервалів довільних розмірів, стохастично розподілених у загальній попередньо структурованій послідовності байт. Невикористані часові інтервали надаються IP-пакетам, які утворюють окрему чергу (F5, рис. 2). Відповідно до спеціального механізму фрагментації і дефрагментації пакетів, будь-який IP-пакет може бути розділений на фрагменти довільного розміру завдяки трьом зарезервованим двобайтовим командам: початок пакета "FF03"; кінець пакета "FF04"; початок фрагмента пакета "FF05". Команда початку фрагмента пакета видаляється після надходження пакета до вхідної черги суміжного комутатора, команди початку і кінця пакета залишаються. Далі за допомогою цих команд аналізатор потоку виділяє з черги окремі пакети і передає їх мережному рівню маршрутизуючого комутатора для подальшого оброблення. У разі якщо пакетна черга (F5, рис. 2) не є пустою, канал зв'язку використовується на максимально можливу потужність.

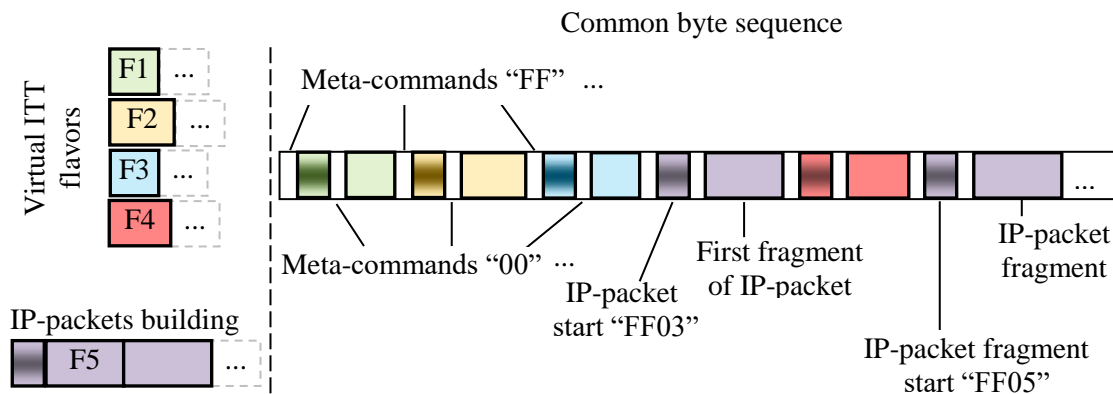


Рисунок 2 – Формування потоків ІТТ і черги ІР-пакетів із загальної послідовності байт

У даній статті запропоновано метод синхронного передавання даних реального часу з контролем затримок по пакетних мережах, які взаємодіють між собою за Інтернет протоколом IP. Даний метод базується на адаптації відомого методу динамічного керування цифровими потоками інтегрованої технології телекомунікацій UA-ІТТ до сучасної мережної інфраструктури IP-мереж. Запропонований спосіб дозволяє одночасно передавати по IP-мережі потоки даних реального часу з обмеженням затримок і пакетні дані, які не є критичними до затримок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. ITU-T Recommendation Y.2001 (12/2004). General overview of NGN. – Available: <http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-l/en>.
2. QoS/QoE for multimedia applications/services [Електронний ресурс] / S.-H Jeong; ITU academy. – Режим доступу: https://academy.itu.int/moodle/pluginfile.php/39887/mod_resource/content/1/session13.pdf.
3. Вопросы качественной передачи голоса по IP-сетям: джиттер, задержка и эхо. Часть 2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8627/doc/40356/>.
4. Coherent Optical Communications: Historical Perspectives and Future Directions [Електронний ресурс] / K. Kikuchi. – Режим доступу: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-10419-0_2#page-1.
5. Understanding MPLS-TP and Its Benefits [Електронний ресурс] / Cisco White Paper. – 2009. – Pp.1-6. – Режим доступу: http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf.

6. Барсков А. SDN: кому и зачем это надо? [Электронный ресурс] / А.Барсков // Журнал сетевых решений/LAN. – 2012. – № 12. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012/>.
7. Воробийенко П.П. Формирование служебной информации в процессе сеанса связи сетевых компьютерных приложений / П.П. Воробийенко, М.И. Струкало, С.М. Струкало // 64-та наук.-техн. конф. проф.-виклад. складу, науковців, аспірантів та студентів: матеріали конф., (Одеса, 1-4 грудня 2009). – Ч.1 Інфокомунікації. – О.: ОНАЗ ім. О.С.Попова, 2009. – С. 92-94.
8. Стеклов В.К. Телекоммуникационные сети / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман. – К.: Техніка, 2001. – 392 с.: ил.
9. Гольдштейн Б.С. ОКС7: Подсистема МТР. Справочник по телекоммуникационным протоколам / Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 222 с.: ил. – ISBN 978-5-9775-3342-3.
10. Telecommunications (Consumer Protection and Service Standards) (Characteristics for Standard Telephone Service) Regulation 2012 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.comlaw.gov.au/Details/F2012L01222>.
11. Packet-over-Sonet/SDH [Электронный ресурс] / Cisco Systems, 1999. – Режим доступа: <http://www.infocellar.com/networks/new-tech/POS/cisco-pos.pdf>.
12. Module 1: Introduction to Cisco DPR/RPR technology [Электронный ресурс] / Cisco Systems CA E-service training, 2006. – Режим доступа: http://www-tss.cisco.com/eservice/elearning/vod/dpt_tech/doc/e-learning_mod1.pdf.
13. Воробийенко П.П. Принципы построения сетевых протоколов по интегрированной технологии телекоммуникаций UA-ИТТ / П.П. Воробийенко, В.И. Тихонов, Е.В. Тихонова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2011. – № 5/9(53). – С.15-19.
14. Воробийенко П.П. Принципы управління цифровими потоками у інтегрованій технології телекомуникацій / П.П. Воробийенко, В.І.Тихонов, О.В.Голубова, О.В.Тихонова // Матеріали восьмої Міжнародної наук.-практ. конф. "ІНТЕРНЕТ-ОСВІТА-НАУКА-2012", (Вінниця, 1-5 жовтня 2012). – Вінниця: ВНТУ, 2012. – С.134–135.
15. Воробийенко П.П. Computer Aided Design of Enhanced Network Adapter / П.П. Воробийенко, І.В.Смірнов, О.В.Тихонова, П.В. Овчаренко // Матеріали 12 міжнародної конф. ["The experience of designing and application of cad systems in microelectronics"], (Львів, 19-23 лютого 2013р.) . – Львів: Нац. універ. "Львівська політехніка", 2013. – С. 374.
16. O. Tykhonova. Multimedia QoS-aware data transfer over the packet-based network : proceedings of the 9 international scientific-practical conference "Internet, Education, Science", (Vinnytsia, October 14-17, 2014). – V.: VNTU, 2014. – P. 92.

REFERENCES

1. "Y.2001 : General Overview of NGN." Y.2001 : *General Overview of NGN*. ITU-T, Dec. 2004. Web. 28 Oct. 2014. <<http://www.itu.int/rec/T-REC-Y.2001-200412-l/en>>.
2. Jeong, S. H. "QoS/QoE for Multimedia Applications/services." ITU Academy, n.d. Web. 28 Oct. 2014. <https://academy.itu.int/moodle/pluginfile.php/39887/mod_resource/content/1/session13.pdf>.
3. Finneran, Michael F. "Voprosy kachestvennoj peredachi golosa po IP-setjam: dzhitter, zaderzhka i jeho. Chast' 2." *Vremja jelektroniki*. Izdatel'skij dom Jelektronika, 26 Dec. 2008. Web. 28 Oct. 2014. <<http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/8627/doc/40356/>>.
4. Kikuchi, Kazuro. "Coherent Optical Communications: Historical Perspectives and Future Directions - Springer." *Springer Link*. Springer, 30 June 2010. Web. 28 Oct. 2014. <http://link.springer.com/chapter/10.1007%252F978-3-642-10419-0_2#page-1>.
5. "Understanding MPLS-TP and Its Benefits." *Cisco White Paper* (n.d.): n. pag. 2009. Web. 28 Oct. 2014. <http://www.cisco.com/en/US/technologies/tk436/tk428/white_paper_c11-562013.pdf>.
6. Barskov, A. "SDN: кому i zachem jeto nado? " *Zhurnal setevyh reshenij /LAN 12* (2012): n. pag. *Zhurnal setevyh reshenij LAN*. Otkrytye sistemy. Web. 28 Oct. 2014. <<http://www.osp.ru/lan/2012/12/13033012/>>.
7. Vorobiyenko, P. P., M. I. Strukalo, and S. M. Strukalo. *Formirovanie Sluzhebnoj Informacii v Prozesse Seansa Svjazi Setevyh Komp'juternyh Prilozhenij*. Proc. of 64 Scientific Conference of Professors, Researchers and Students, O.S. POPOV ONAT, Odessa. Vol. 1. Odessa: O.S. POPOV ONAT, 2009. 92-94. Print. Infocommunications.
8. Steklov, V. K., and L. N. Berkman. *Telekomunikatsiini Merezhi*. Kyiv: Tekhnika, 2001. Print.
9. Gol'dshtejn, B. S., I. M. Ehriel', and R. D. Rerle. *SS7: Podсистема MTP. Spravochnik Po Telekomunikacionnym Protokolam*. S.-Peterburg: BHV-Peterburg, 2014. Print.

10. "Telecommunications (Consumer Protection and Service Standards) (Characteristics for Standard Telephone Service) Regulation 2012." Australian Government, 14 June 2012. Web. 28 Oct. 2014. <<http://www.comlaw.gov.au/Details/2012L01222>>.
11. "Packet-over-Sonet/SDH." *Cisco Systems* (n.d.): n. pag. 1999. Web. 28 Oct. 2014. <<http://www.infocellar.com/networks/new-tech/POS/cisco-pos.pdf>>.
12. "Module 1: Introduction to Cisco DPR/RPR Technology." *Cisco Systems CA E-service Training* (n.d.): n. pag. 2006. Web. 28 Oct. 2014. <http://www-tss.cisco.com/eservice/elearning/vod/dpt_tech/doc/e-learning_mod1.pdf>.
13. Vorobiyenko, P. P., V. I. Tikhonov, and E. V. Tykhonova. "Principy Postroenija Setevyh Protokolov Po Integrirovannoj Tehnologii Telekomunikacij UA-ITT." *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies* 5/9(53) (2011): 15-19. Print.
14. Vorobiyenko, P. P., V. I. Tikhonov, O. V. Golubova, and O. V. Tykhonova. *Printsipi Upravlinnia Tsyfrovymy Potokamy U Integrovannii Tekhnologii Telekomunikatsii*. Proc. of 8 International Scientific-practical Conference IES 2012, VNTU, Vinnytsia. Vinnytsia: VNTU, 2012. 134-35. Print.
15. Vorobiyenko, P. P., I. V. Smirnov, O. V. Tykhonova, and P. V. Ovcharenko. *Computer Aided Design of Enhanced Network Adapter*. Proc. of 12 International Conference "The Experience of Designing and Application of Cad Systems in Microelectronics", National University Lviv Politechnic, Lviv. Lviv: National U Lviv Politechnic, 2013. 374. Print.
16. Tykhonova, O. V. *Multimedia QoS-aware Data Transfer over the Packet-based Network*. Proc. of 9 International Scientific-practical Conference "Internet, Education, Science", VNTU, Vinnytsia. Vinnytsia: VNTU, 2014. 92. Print.