

УДК 621.394

Ефимов В.В., Соколов Н.А., Федоров А.В.

## **ВЕРОЯТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЭВОЛЮЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

Обсуждается ряд направлений эволюции, характерных для телекоммуникационной системы общего пользования. Анализ этих направлений осуществляется с двух точек зрения. Во-первых, рассматриваются тенденции развития применительно к модели телекоммуникационной системы. Во-вторых, схожие аспекты эволюции анализируются на основе изучения новых концепций, прямо или косвенно влияющих на изменения в отрасли "Связь". Статья содержит результаты системных исследований, проводимых в ЛО ЦНИИС.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, сеть электросвязи, эволюция, прогностические оценки, сценарий.

### **Введение**

Направления эволюции телекоммуникационной системы можно рассматривать, используя разные классификационные признаки. Более того, некоторые направления эволюции, по не всегда очевидным причинам, остаются теоретическими конструкциями, которые не реализуются на практике. Именно по этой причине в названии статьи используется прилагательное "вероятные".

Для изложения текста статьи выбраны два классификационных признака. Первый из них типичен для системных исследований в области электросвязи. Он подразумевает выделение типичных компонентов, для каждого из которых анализируются вероятные процессы эволюции. Вторым классификационным признаком базируется на новых концепциях, которые сложно или невозможно соотнести с компонентами и/или с уровнями иерархии в составе телекоммуникационной системы. В этом случае уместен анализ, который не опирается на отдельные компоненты телекоммуникационной системы.

Ограниченный объем статьи не позволяет охватить все направления развития телекоммуникационной системы. Те аспекты эволюции, которые не отражены в тексте данной публикации, перечислены в разделе "Заключение". В перечне использованных источников содержатся ссылки, позволяющие более детально ознакомиться с рассматриваемыми аспектами эволюции телекоммуникационной системы общего пользования.

### **Модель телекоммуникационной системы. Три процесса эволюции**

В научно-технической литературе используются различные модели телекоммуникационной системы [1 – 3]. Выбор модели определяется, в основном, целью ее исследования. Для изучения ряда аспектов эволюции телекоммуникацион-

ной системы уместно выбрать модель, которая основана на конструкциях, введенных в рекомендациях сектора стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ) серии Y. Модель, базирующаяся на упомянутых выше материалах сектора стандартизации МСЭ, приведена на рисунке 1. Она состоит из пяти компонентов, изображенных в виде "облаков". Четыре "облака" непосредственно относятся к телекоммуникационной системе. Пятое "облако" включает источники информации, передаваемой через сети электросвязи. Пять облаков, в совокупности, можно рассматривать как инфокоммуникационную систему.

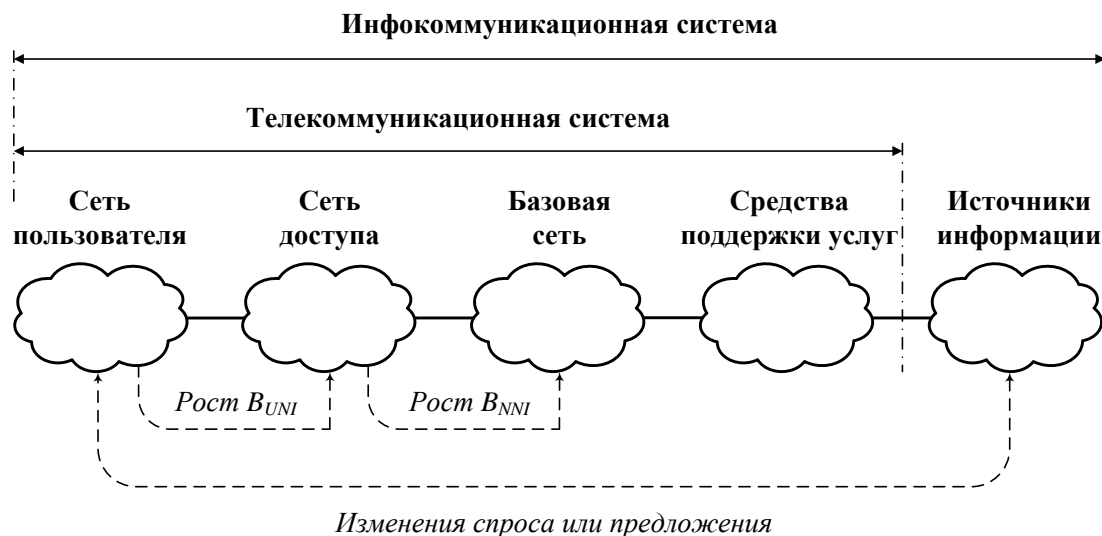


Рис. 1. Модель телекоммуникационной системы

Следует подчеркнуть, что предложенная модель позволяет исследовать телекоммуникационные системы и сети электросвязи любого вида. В данной статье, в основном, рассматривается телекоммуникационная система, создаваемая для сети следующего поколения, определенной идеологией NGN – Next Generation Network [2, 4]. Предложенная модель годится также и для изучения сетей класса post-NGN [5].

Если рассматривать каждое "облако" как "черный ящик" [6], то эволюционные тенденции можно свести к трем основным процессам. Эти процессы косвенно связаны между собой. Тем не менее, им свойственна определенная автономность.

Первый процесс – повышение скорости обмена информацией. Причиной этого явления можно считать изменения спроса, порождаемого потенциальными пользователями, или предложения, генерируемого источниками информации. В результате возникает необходимость увеличения скорости обмена информацией на интерфейсах пользователь-сеть – UNI (User-Network Interface) и между двумя следующими компонентами модели – NNI (Network-Network Interface). Номиналы скоростей обозначены как  $B_{UNI}$  и  $B_{NNI}$  соответственно. Анализ доступных статистических данных и прогностических оценок [7] показывает, что в обозримой перспективе доминирующей величиной для  $B_{UNI}$  станет уровень в 1 Гбит/с. Это, в

свою очередь, приведет к заметному росту величины  $B_{NNI}$ . Еще одной важной тенденцией, касающейся рассматриваемого процесса, следует считать сближение номиналов скоростей обмена данными в направлениях от пользователя к сети (Upload) и от сети к пользователю (Download).

Второй процесс – формирование спроса на высокие показатели качества обслуживания мультисервисного трафика, обусловленное некоторыми видами услуг (например, телевидением высокой четкости) и практикой заключения соглашений об уровне обслуживания [8], которые известны по аббревиатуре SLA – Service Level Agreement. Этот процесс в ряде случаев стимулирует существенную модернизацию компонентов телекоммуникационной системы.

Третий процесс – качественные и количественные изменения в облаке "Сеть пользователя" по мере реализации концепции "Интернет вещей" [9]. Данная концепция, по мнению ряда специалистов, радикально изменит облик инфокоммуникационной системы. Такая гипотеза представляется оправданной, учитывая, что в ближайшие годы численность "вещей", использующих ресурсы "всемирной паутины", может многократно превысить население нашей планеты.

### **Новые концептуальные положения. Движущие силы эволюции**

Возникновение новых концепций и разработка перспективных технологий в отрасли "Связь" происходят очень быстро. По всей видимости, инфокоммуникационная система станет одним из первых объектов, попавших в зону сингулярности [10]. Действительно, если построить вертикаль Снукса-Панова [10] для идей и технологий в области электросвязи, то ускорение инноваций будет процессом, приближающимся к зоне сингулярности.

Системный анализ [11] данного явления представляет собой очень интересное поле для исследований. В этой статье кратко рассматриваются семь концепций, которые, по мнению авторов, будут основными движущими силами эволюции телекоммуникационной и инфокоммуникационной систем.

I. Оптическая транспортная сеть (Optical Transport Network, OTN) – фундамент телекоммуникационной системы. Ее основные функции заключаются в надежном обеспечении всех потенциальных пользователей транспортными ресурсами, которым свойственны высокие качественные показатели для процесса обмена информацией любого рода. К транспортной сети всегда предъявлялось требование к возможности повышения ее пропускной способности. Правда, в эпоху доминирования сетей телеграфной и телефонной связи речь шла о росте, оцениваемом десятками процентов. В настоящее время приходится обсуждать варианты повышения пропускной способности транспортной сети на несколько порядков. Принципы построения оптической транспортной сети изложены в ряде рекомендаций МСЭ, среди которых следует акцентировать внимание читателей на G.709 [12] и G.872 [13]. Кроме того, концептуальные положения оптической транспортной сети хорошо изложены в научно-технической литературе.

II. Глобальная информационная сеть (Global Gnoseology Graph, GGG) может рассматриваться как концепция качественного обновления всемирной паутины, известной по аббревиатуре WWW – World Wide Web. По всей видимости, авторы идеологии глобальной информационной сети решили – для преемственности и простоты восприятия – использовать три одинаковые буквы латинского алфавита и в названии новой концепции. Следует отметить, что существует еще одна расшифровка сокращения GGG – Giant Global Graph (гигантский глобальный граф), связанная с близкой идеологией модернизации всемирной паутины. Реализация концепции GGG ориентирована, в первую очередь, на развитие "экономики знаний" [14], которая обычно ассоциируется с высшим этапом развития постиндустриального общества. Переход от WWW к GGG допустимо считать дальнейшим развитием всемирной паутины на профессиональной основе с использованием научно-обоснованных принципов эволюции больших и сложных систем. По всей видимости, самая удачная характеристика принадлежит одному из авторов данной концепции М.Н. Хохловой [15]: "Практическое применение GGG-подхода "отжимает воду" из потоков информации, сокращает избыточность, выявляет противоречивость, семантически обобщает лингвистически не тождественные описания до однократного, однозначного, целостного представления знания, которое может быть автоматически преобразовано в соответствующую работающую модель (картину) мира".

III. Интернет вещей (Internet of Things, IoT), судя по прогностическим оценкам [16], существенно изменит облик инфокоммуникационной системы, а также характер обслуживаемого трафика. Для обмена информацией предполагается использовать как проводные, так и беспроводные технологии. Перечень потенциальных сфер применения Интернета вещей весьма обширен: от простейших телематических устройств – до сложнейших систем когнитивной медицины. По мере появления более сложных видов оборудования, устанавливаемого в облаке "Сеть пользователя", расширится круг актуальных задач, успешно решаемых за счет практического воплощения концепции "Интернет вещей". Следует отметить, что эта концепция, прямо или косвенно, связана с тремя направлениями развития телекоммуникационной системы, рассматриваемыми ниже.

IV. Большие данные (Big Data) – концепция, относящаяся к информационным технологиям [17], но оказывающая существенное влияние на развитие сетей электросвязи. При разработке математической модели [18] объекта или процесса обычно приходится пренебрегать рядом деталей в силу сложности сбора и обработки соответствующей информации. В результате полученные характеристики могут содержать решения, точность которых не отвечает современным требованиям. Концепция "Большие данные" нацелена на обработку в режиме реального времени больших объемов данных, которые могут относиться к виду плохо структурированных [17]. Очевидно, что обработка больших объемов данных требует существенного повышения пропускной способности транспортных ре-

сурсов и производительности маршрутизаторов в составе телекоммуникационной системы.

V. Облачные вычисления (Cloud Computing, CC) можно рассматривать как новое название очередного этапа развития инфокоммуникационной системы, входящего в цикл "централизация – децентрализация". Если упростить постановку задачи, то можно сформулировать следующее положение: возникли технические и/или экономические предпосылки для централизации ряда услуг, свойственных инфокоммуникационной системе. В первую очередь, следует упомянуть услуги по обработке данных (вычислительные операции) и их хранению. В общем случае концепцию облачных вычислений можно выразить формулой XaaS, в которой последние три буквы – сокращение словосочетания as a Service (как услуга). Значение буквы "X" меняется в зависимости от типа услуги [19]: S – software (программное обеспечение), M – management (управление), A – application (приложение), I – infrastructure (инфраструктура) и т.п. Реализация идеологии XaaS предъявляет к телекоммуникационной системе ряд дополнительных требований, среди которых уместно выделить обеспечение высоких показателей пропускной способности и производительности, надежности и безопасности.

VI. Будущие сети (Future Network, FN), как совокупность системных принципов, определены в самых общих чертах [5, 20]. Концепция "Будущие сети" не столь заметно отличается от упомянутой выше идеологии NGN. С другой стороны, это словосочетание может трактоваться и в несколько ином смысле, означая радикальный пересмотр некоторых базовых принципов построения и развития телекоммуникационной системы. В научно-технической литературе обсуждаются возможности смены парадигмы построения телекоммуникационной системы, которые также определяют облик будущих сетей [21 – 23]. В этих публикациях не исключается возможность замены пакетных технологий, которые стали столь привычными для известных концепций модернизации сетей электросвязи различного назначения, иными решениями. Тогда к телекоммуникационной системе будут предъявлены требования, которые сложно сформулировать в используемых ныне терминах.

VII. Техническое обслуживание (technical maintenance) – важный компонент системы технической эксплуатации [24] сетей электросвязи. Техническое обслуживание включает совокупность операций по восстановлению работоспособности сети электросвязи в случае возникновения отказов, перегрузки или иных нештатных ситуаций. Выделение технического обслуживания в самостоятельную движущую силу развития телекоммуникационной системы обусловлено рядом соображений. Во-первых, концепция технического обслуживания постоянно обновляется. Во-вторых, решение возникающих задач на фоне процессов конвергенции, интеграции и консолидации [25] усложняется. В-третьих, затраты Операторов связи на техническое обслуживание телекоммуникационного оборудования возрастают. Подобные факторы стимулируют исследования, направленные на оптимизацию эксплуатационных процессов.

Семь концепций, кратко рассмотренных в этом разделе статьи, сложно сравнивать между собой. По всей видимости, получение адекватных количественных оценок, имеющих теоретическую и практическую ценность, не представляется возможным. Правда, не столь сложно получить экспертные оценки [26]. Для телекоммуникационной системы в целом могут быть получены качественные оценки [27], вполне приемлемые для разработки принципов ее модернизации.

### Оценки анализируемых концепций

Качественные оценки анализируемых концепций уместно представить при помощи многоугольника, используемого, например, для оценки конкурентоспособности товаров и услуг [28]. Обычно такие многоугольники строятся как фигуры, вписанные в окружность. На рисунке 2 изображен семиугольник, названия вершин которого соответствуют формулировкам концепций, перечисленных в предыдущем разделе статьи. Предполагается, что длина радиуса окружности, показанной штрихпунктирной линией, равна единице. Оценка "1" соответствует максимально возможному (как правило, – теоретическому) уровню реализации концепции. По этой причине, правильный семиугольник, построенный за счет объединения вершин, которые лежат на окружности единичного радиуса, соответствует "идеальной" телекоммуникационной системе.

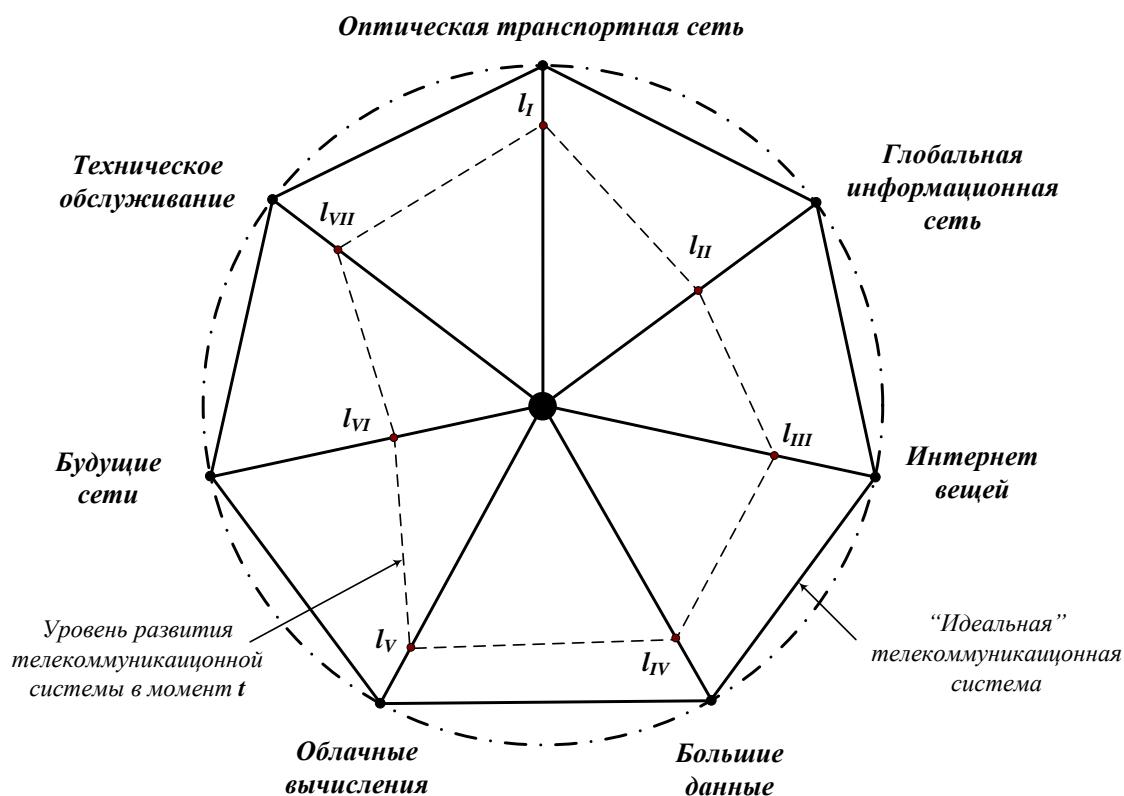


Рис. 2. Оценочный семиугольник для концептуальных положений

Уровень развития телекоммуникационной системы к моменту времени  $t$  показан в виде семиугольника, образованного за счет объединения вершин, обозначенных как  $I_I, I_{II}, \dots, I_{VII}$ . Эти значения соответствуют оценкам семи концептуальных положений. Обычно подобные оценки выставляются группой экспертов. Для сравнения альтернативных сценариев развития телекоммуникационной системы, имеющих, как правило, различные значения величин  $I_I, I_{II}, \dots, I_{VII}$ , вычисляются площади многоугольников. Сценарий, для которого площадь многоугольника максимальна, считается предпочтительным. Существуют и более сложные методы принятия решений [29]. Их следует использовать, в частности, когда для исследуемых концептуальных положений можно выделить приоритетные направления развития телекоммуникационной системы. Актуален также и анализ возникающих рисков [30].

Методология оценки анализируемых концепций инвариантна к их численности. Замена семиугольника на другую плоскую геометрическую фигуру (с увеличением или с уменьшением количества вершин) не меняет принципы получения количественных оценок и проведения качественного анализа концептуальных положений.

### **Заключение**

Ряд рассмотренных направлений развития телекоммуникационной системы будет трансформироваться и дополняться. Эти дополнения могут быть заимствованы из других концепций. В частности, концепцию "Большие данные" можно – условно – дополнить ключевыми идеями интеллектуального анализа данных, который более известен по англоязычному названию Data Mining [31]. Аналогичное дополнение целесообразно сделать для концепции "Будущие сети". Речь идет о связке SDN / NFV (Software Defined Network /Network Function Virtualization) – программно-конфигурируемая сеть и виртуализация функций сетевых элементов [32]. Ожидаемый эффект от использования этих инноваций видится авторам связки SDN / NFV в повышении оперативности ввода новых видов инфокоммуникационных услуг, а также в сокращении капитальных затрат и эксплуатационных расходов.

Некоторые важные и интересные концептуальные положения не затронуты в данной статье. Например, в [33] сформулирован следующий девиз эволюции инфокоммуникационной системы: "All IP – All IT – All Wireless". Его можно перевести так: "передача всех видов информации через пакетные сети – повсеместное использование информационных технологий – широкое применение беспроводного доступа". Предлагаемый перевод несколько смягчает формулировки из [33], но не меняет их сути.

Подход "All IP – All IT – All Wireless" отражает третью точку зрения на рассматриваемые вопросы, но содержит не затронутую тематику – применение беспроводных технологий. По этим технологиям можно найти множество публикаций. Из последних работ следует упомянуть монографию [34]. Она посвящена се-

тям мобильной связи пятого поколения (5G), но в ней изложены также вопросы, напрямую не относящиеся к новой идеологии мобильной связи. В частности, рассмотрены аспекты развития Интернет, облачных вычислений, сот малого размера, самоорганизующихся сетей (self-organizing network, SON), когнитивного радио и другие.

В данной статье также не рассмотрена концепция "Тактильный Интернет" – Tactile Internet [35]. Ее, в принципе, можно считать одним из компонентов, образующих концепцию "Глобальная информационная сеть". С другой стороны, тактильный Интернет формирует новые требования к допустимой задержке приема и передачи информации. Это, в свою очередь, диктует необходимость радикального повышения пропускной способности ряда фрагментов в составе телекоммуникационной системы и сокращения длины тракта обмена информацией. На рисунке 3, приведенном в [35], показан порядок времени реакции человека на различные воздействия. В правой части иллюстрации для тактильных ощущений указана величина, равная одной миллисекунде.

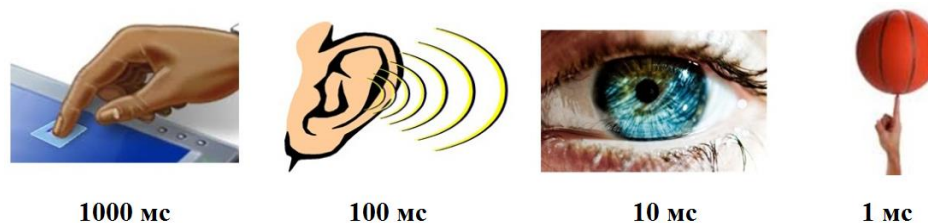


Рис. 3. Порядок времени реакции человека на различные воздействия

В завершении статьи следует упомянуть разработку Министерства образования и науки под названием "Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на период до 2030 года" [36]. В этом материале первый раздел посвящен информационно-телекоммуникационным технологиям, что свидетельствует о признании отрасли в качестве одной из важнейших движущих сил в развитии страны. Основная часть направлений развития телекоммуникационной системы, приведенных в [36], представлена в данной статье. Ряд направлений, более связанных с информатикой, – предмет отдельного анализа. Документ "Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на период до 2030 года" можно скачать с сайта Министерства образования и науки. Он содержит интересную информацию, полезную для проведения системных исследований.

### Литература

1. Давыдов Г.Б., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. – М.: Связь, 1977.
2. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. – СПб.: БХВ, 2010.
3. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи. – СПб.: Техника связи, 2012.



4. Сети следующего поколения NGN / под ред. А.В. Рослякова. – М.: ЭкоТрендз, 2008.
5. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. – СПб.: БХВ, 2013.
6. Бейзер Б. Тестирование черного ящика. Технологии функционального тестирования программного обеспечения и систем. – СПб.: Питер, 2004.
7. Соколов Н.А. Эволюция сетей доступа. Три аспекта. – Первая миля, 2015, №2.
8. Фаерберг О.И., Шварцман В.О. Качество услуг связи. – М.: ИРИАС, 2005.
9. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю., Самсонов М.Ю. Интернет вещей. – Самара: ПГУТИ, ООО "Издательство Ас Гард", 2014.
10. Панов А.Д. Единство социально-биологической эволюции и предел ее ускорения. – Историческая психология и социология истории, 2008, №2.
11. Новосельцев В.И., Тарасов Б.В. Теоретические основы системного анализа. – М.: Майор, 2013.
12. ITU-T. Interfaces for the optical transport network. Recommendation G.709 / Y.1331. – Geneva, 2012.
13. ITU-T. Architecture of optical transport networks. Recommendation G.872. – Geneva, 2012.
14. Экономика знаний. Институты и структуры / под редакцией С.М. Пястолова. – М.: Издательство ИНИОН, 2013.
15. Хохлова М.Н. Гармогенез. – электронное научное издание "Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление" ([www.rupravlenie.ru](http://www.rupravlenie.ru)), т 9, №2 (19), 2013.
16. Бондарик В.Н., Кучерявый А.Е. Прогнозирование развития Интернета Вещей на горизонте планирования до 2030 года. – Труды МФТИ, том 5, №3, 2013.
17. Erl T., Khattak W., Buhler P. Big Data Fundamentals: Concepts, Drivers & Techniques. – Prentice Hall, 2015.
18. Мышкис А.Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Книжный дом "Либриком", 2011.
19. Шалагинов А. Cloud Computing – "облачные вычисления"? – Технологии и средства связи, №5, 2010.
20. Росляков А.В., Ваняшин С.В. Будущие сети (Future Network). – Самара, ПГУТИ, 2015.
21. Modarressi A., Mohan S. Control and Management in Next-Generation Networks: Challenges and Opportunities. – IEEE Communications Magazine, October 2000.
22. Шнепс-Шнеппе М.А. Телекоммуникации для экстренных и военных нужд: параллели. – International Journal of Open Information Technologies, vol. 2, no. 7, 2014.

23. Соколов Н.А. Системные аспекты построения и развития сетей электро-связи специального назначения. – International Journal of Open Information Technologies, vol. 2, no. 9, 2014.

24. Райли Д., Кринер М. NGOSS: Построение эффективных систем поддержки и эксплуатации сетей для оператора связи. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.

25 Соколов Н.А. Процессы конвергенции, интеграции и консолидации в современной телекоммуникационной системе. – Connect! Мир связи, 2007, №10.

26. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Часть 2: Экспертные оценки. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.

27. Ефимов В.В., Соколов Н.А. Развитие сети связи общего пользования как процесс эволюции сложной системы. – Труды ЦНИИС (Санкт-Петербургский филиал), 2015, Том 1.

28. Лифиц И.М. Теория и практика оценки конкурентоспособности товаров и услуг. – М.: Юрайт, 2001.

29. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений. – М.: Наука, 1978.

30. Котов. Риск-анализ на основе функций чувствительности и теории нечетких множеств. – СПб.: Астерион, 2014.

31. Han J., Kamber M., Pei J. Data Mining. Concept and Techniques. – Morgan Kaufmann Publishers, 2012.

32. Шалагинов А.В. SDN и NFV: облачная виртуализация операторских сетей. – Вестник связи, №9, 2015.

33. Picot A. The Future of Telecommunications Industries. – Springer, 2006.

34. Rodriguez J. Fundamentals of 5G Mobile Networks. – Wiley, 2015.

35. ITU-T Technology Watch Report "The Tactile Internet". – Geneva, 2014.

36. Прогноз научно-технического развития Российской Федерации на период до 2030 года. – Министерство образования и науки Российской Федерации, декабрь 2013.

Abstract: Directions of the public telecommunications system evolution are discussed. Analysis of these areas is carried out from two points of view. Firstly, the development trends related to the model of the telecommunication system are described. Secondly, the evolution of similar aspects is studied taking into considerations the new concepts directly or indirectly affecting the changes in the communication industry. The article contains results of system researches carried out in the LO ZNIIS.

Key-words: telecommunication system, telecommunication network, evolution, prognostic estimations, scenario.