

РАЗГРАНИЧЕНИЕ И СЛИЯНИЕ УРОВНЕЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Ключевые слова: *информационное общество, информационно-телекоммуникационные системы, эталонная модель взаимодействия открытых систем, прикладная теория информации.*

В современном мире телекоммуникации переживают эпоху бурной эволюции, потенциал которой накапливался на протяжении последних двух десятилетий. Такая эволюция проявляется в нескольких важных направлениях. Главным направлением следует считать тенденцию к слиянию ранее взаимно независимых технологий: информационных и телекоммуникационных.

В стратегии развития цивилизованных стран доминирующей становится концепция информационного общества, в котором материальной основой являются информационно-телекоммуникационные технологии (ИТТ). В них тесно переплетаются задачи создания, хранения, свободного обмена в неограниченном пространственном ресурсе значительных объемов информации, которые направляются от источников к многочисленным потребителям [1–3].

Таким образом, информационное общество формируется как глобальное. Оно включает мировую «информационную экономику», единое мировое информационное пространство, глобальную информационную инфраструктуру.

В информационном обществе деловая активность перетекает в информационно-коммуникативную среду — масштабную телекоммуникационную сеть, предназначенную для удовлетворения личностных, социально-групповых и общественных информационно-коммуникационных потребностей ввиду использования информационно-телекоммуникационных технологий.

Следствием реализации базового направления эволюции является технологическая конвергенция, т.е. формирование единой интегрированной информационной платформы на основе слияния телекоммуникационной, компьютерно-электронной, аудиовизуальной техники. Эта тенденция порождает конвергенцию (т.е. слияние) информационных услуг.

Как во второй половине XX в. телевидение интегрировало в себе другие средства массовой коммуникации (радио, кино, прессу), создав масс-медийную среду, таким же образом и современная информационно-телекоммуникационная среда объединяет разнокачественные информационные потоки в единое пространство, которое может быть названо гипермедиа. Его основу составляют Интернет и беспроводные приложения, которые вбирают все массовые средства коммуникаций, включая телевидение.

В результате за последние двадцать лет мировые технологии передачи информации отделились от фазы преобладания стационарной телефонной сети, как основной формы средств коммуникаций, и перешли к фазе преобладания мобильных средств связи, росту объема Интернет-коммуникаций, распространению широкополосных беспроводных систем [3].

Таким образом, телекоммуникационная компонента ИТТ становится системой передачи информации (СПИ), предназначенной для доставки информации от одного объекта (источника информации) к другому объекту (получателю информации).

Технической основой конвергенции услуг является цифровизация и пакетирование, т.е. унификация формы транспортируемых сообщений. Цифровая

электроника преобразует разнообразную информацию (текстовую, графическую, звуковую, видео) в потоки бит, т.е. соединяет разнокачественные информационные потоки в едином пространстве.

Появление и глобальное распространение Интернета означает новое (потенциально необъятное) расширение круга участников общения. С одной стороны, это порождает тенденцию к общности технологий для создания локальной и магистральной инфраструктуры. С другой стороны, происходит интернационализация всего глобального процесса развития и совершенствования ИТТ на основе международного разделения труда в производстве и интеграции сетей на платформе стандартизации.

Конструктивным инструментом организации международного сотрудничества в сфере ИТТ стала эталонная модель взаимодействия открытых систем OSI (Open Systems Interconnection Reference Model) — абстрактная модель, объединяющая международные стандарты для сетевых коммуникаций и разработки сетевых протоколов.

Модель OSI отображает многоуровневый подход к построению сети. Каждый уровень обслуживает определенную часть процесса взаимодействия. Благодаря такой структуре совместная работа сетевого оборудования и программного обеспечения становится более простой и понятной.

Проблема исследования телекоммуникационных систем на основе эталонной модели OSI заключается в том, что уровни модели являются настолько автономными, что их задачи не пересекаются. Соответственно общая реализация системы построена таким образом, что специалисты, исследующие особенности того или иного уровня модели, оперируют категориями внутри конкретного пространства знаний о системе и не затрагивают проблематики состояния других уровней. Данная ситуация возникла ввиду того, что модель OSI не содержит категории, которая могла бы объединить иерархические уровни.

Негативным в вопросе технологического разграничения уровней эталонной модели стало также разграничение сфер научного исследования различных аспектов функционирования информационно-телекоммуникационных систем. При этом исследование единого информационного пространства объективно подразумевает универсальный подход к описанию информационных потребностей и информационных возможностей этого пространства и его компонент.

Цель дальнейшего изложения заключается в формулировке принципов системного подхода к анализу и синтезу современных телекоммуникационных систем на основе объединяющей категории — информации. Именно такой подход к оценке систем передачи информации является объективным при сопоставительном анализе и синтезе новых информационно-коммуникационных технологий.

Прежде чем обратиться к концепции слияния уровней модели OSI, следует более подробно остановиться на действующих принципах разграничения уровней.

Эталонная модель OSI является базовой архитектурной моделью для всех известных систем передачи сообщений. При рассмотрении конкретных прикладных телекоммуникационных систем проводится сравнение их архитектуры с моделью OSI.

Эталонная модель OSI распределяет проблему передачи информации на семь сопрягаемых задач согласно иерархическим уровням. Конкретизация каждой задачи проводилась по принципу относительной автономности. Очевидно, что решение каждой автономной задачи выполняется легче.

Каждой из семи областей проблемы передачи информации ставится в соответствие один из уровней эталонной модели. Физической средой в различных телекоммуникационных системах могут быть самые разнообразные средства — от простейшей пары проводов до сложной системы передачи синхронной цифровой иерархии.

Структура разбиения архитектуры сети на уровни эталонной модели OSI отображена в табл. 1.

Таблица 1

Форма представления данных	Наименование уровня	Функции
Потоки данных	Прикладной	Доступ к сетевым службам
	Представления	Представление и кодирование данных
	Сеансовый	Управление сеансом связи
Сегменты	Транспортный	Прямая связь между конечными пунктами
Пакеты	Сетевой	Определение маршрута и логическая адресация
Кадры	Канальный	Физическая адресация
Символы	Физический	Работа со средой передачи, сигналами и двоичными данными

Два нижних уровня эталонной модели OSI реализуются аппаратным и программным обеспечением, остальные уровни, как правило, реализуются программным обеспечением. Эталонная модель OSI определяет перечень стандартных процедур (протоколов), в соответствии с которыми информация проходит через среду передачи (например, оптоволокно) от прикладного процесса-источника (например, по передаче данных) до процесса-получателя.

Уровневая модель OSI исключает прямую связь между соответствующими уровнями разных систем. Взаимодействие уровней происходит в так называемой точке предоставления услуг. Каждый уровень имеет заранее заданный набор функций, которые он должен выполнить для проведения связи.

Таким образом, уровни разграничены ввиду решения конкретных автономных задач.

При разработке новых технологических решений специалистами информационно-коммуникационных технологий предложены несколько моделей, аналогичных сетевой модели OSI, например модель DOD — иерархически организованный набор (стек) сетевых Интернет-протоколов TCP/IP, модель IEEE 802 — группа стандартов семейства IEEE.

Эти модели ориентированы на взаимодействие открытых систем и построены по принципу иерархических уровней. Большинство протоколов одинаковы на физическом и канальном уровнях, но на других уровнях, как правило, используются разные протоколы.

Итак, потребности международной интеграции в сфере создания глобальных информационно-телекоммуникационных технологий обуславливают целесообразность сложившейся многоуровневой иерархии протоколов транспортировки информации.

Вместе с тем потребности прогнозирования путей создания и развития эффективных информационных систем обуславливают необходимость разработки новых научных методов количественного анализа производительности информационно-телекоммуникационных систем на основе осмысленного слияния уровней модели OSI при адекватном описании процессов транспортировки информации.

На физическом уровне объемы информации пропорциональны скорости передачи информации с заданной достоверностью в канале. На канальном уровне объемы информации трансформируются в интенсивности нагрузки пользователей в системе. На сетевом и высших уровнях возможным критерием эффективности и оптимизации параметров системы является максимум взаимной (транспортируемой) информации при заданных сетевых ресурсах.

Объединение уровней на основе количественной меры информации возможно при обращении к методологическим принципам определения указанных информационных возможностей телекоммуникаций. Интегральным показателем информационных возможностей выступает объем информации, который можно передать в СПИ с требуемым качеством по критериям достоверности и своевременности.

Таким образом, в объединенном пространстве объектом исследования становятся методы повышения пропускной способности, качество передачи сообщений в сетях независимо от уровневой иерархии, а исследуемыми показателями — пропускная способность и производительность цифровых систем связи.

Методологическим базисом нового направления исследований является прикладная теория информации для телекоммуникаций, реализующая идею объединения задач всех уровней модели OSI на базе количественной меры информации. Тем самым новая теория, охватывая на первом этапе задачи физического и канального уровней, в своем развитии создает предпосылки для использования количественной меры информации в задачах исследования характеристик более высоких уровней эталонной модели.

Главным звеном теории информации является сформулированная К. Шенноном количественная (вероятностная) мера информации. Подход Шеннона позволил соизмерить производительность источников информации с отдельными характеристиками каналов ее передачи, определить границу заданной надежности передачи информации.

Первым обобщающим свойством информации является то, что она выступает мерой устранения неопределенности. Количественной мерой неопределенности является энтропия H , которая характеризует степень вариативности микросостояния объекта. Чем выше энтропия, тем большее число существенно различных микросостояний может содержать объект при данном макросостоянии. С приобретением информации уменьшается неопределенность, поэтому количество информации можно измерять количеством уменьшенной неопределенности, т.е. энтропии. В случае дискретной случайной величины, описывающей состояние объекта информационной среды, энтропия определяется формулой Больцмана

$$H_{\xi} = - \sum P(\xi) \cdot \ln P(\xi), \quad (1)$$

где ξ — случайная величина, $P(\xi)$ — распределение вероятностей этой величины по сумме возможных состояний.

Прикладная теория информации предлагает способы оценки информационных возможностей каналов телекоммуникаций, позволяющие объединить уровни модели OSI [1].

Так, на физическом уровне задачей выступает обеспечение заданной достоверности в канале при достижении максимальной скорости передачи. Решение такой задачи возможно при использовании теории помехоустойчивости, теории кодирования и теории информации. В контексте задач физического уровня неопределенность заключается в многообразии форм сообщений, в которые может трансформироваться информация и которые могут быть переданы от источника к получателю в виде сигналов.

На канальном уровне реализуется решение задачи доступа к каналам при известном количестве пользователей.

В общей задаче объединения уровней первичным является решение задачи взаимосвязи показателей физического и канального уровней. Основным показателем физического уровня является скорость передачи в канале, зависящим от многих характеристик канала и сигналов, которые передаются по каналу: вида модуляции, способа кодирования, алгоритма уплотнения и др. Показателями канального уровня выступают интенсивности поступления и обслуживания заявок в системе, которые, в свою очередь, зависят от скорости передачи в канале связи.

Примером, иллюстрирующим модели и новые методы анализа параметров единой информационно-телекоммуникационной системы на физическом и канальном уровнях ее описания, выступает беспроводная система класса UMTS [4].

Пусть на некоторой территории площадью $S = \pi \cdot R^2$ км² расположены абоненты при известной плотности n_0 абон/км² их размещения. Средний объем сообщений, связанных с одним абонентом, составляет G_0 Мбит/час. Если среднее

время сеанса с базовой станцией составляет τ_0 мин при скорости передачи V Мбит/с, то среднее количество сеансов связи, необходимых для обслуживания одного абонента, составляет

$$\lambda_1 = \frac{G_0}{V \cdot \tau_0}, \quad (2)$$

где G_0/V с — время для передачи G_0 Мбит со скоростью V Мбит/с.

Суммарная нагрузка Y_Σ Эрл, создаваемая для одной базовой станции в центре территории площадью S , составляет

$$Y_\Sigma = S \cdot n_0 \cdot \lambda_1 \cdot \tau_0 = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot n_0 \cdot G_0}{V}. \quad (3)$$

Переменные в правой части (3) представляются независимыми на основании постановки задачи канального уровня. Отображение в данной задаче параметров физического уровня определяют вариативность параметров R и V в выражении (3).

Для случая функционирования системы связи класса UMTS линия беспроводной связи использует два вида многопозиционной манипуляции:

- ФМ-4, как более помехоустойчивый способ, содержащий 4 бит в одной порции излучения (в одном канальном символе);
- КАМ-16, как менее помехоустойчивый способ, содержащий 16 бит в одной порции излучения.

Цифровой поток передается от базовой станции (БС) к пользовательскому терминалу со скоростью, значение которой зависит от вида манипуляции: 1,2 Мбит/с для ФМ-4 и 3,6 Мбит/с для КАМ-16.

Передатчик базовой станции имеет фиксированную мощность излучения. Радиус R зоны покрытия БС зависит как от заданных требований к качеству связи (через допустимую вероятность ошибки $p_{\text{ош}}$), так и от вида манипуляции: радиус тем меньше, чем жестче требования к качеству связи (меньше $p_{\text{ош}}$). Так, для ФМ-4 радиус R больше, чем для КАМ-16 (рис. 1). Достоверность передачи для сигналов на входе декодера (символов) ниже, чем для сигналов на выходе декодера (бит) при каждом значении d км удаления абонентского терминала от БС.

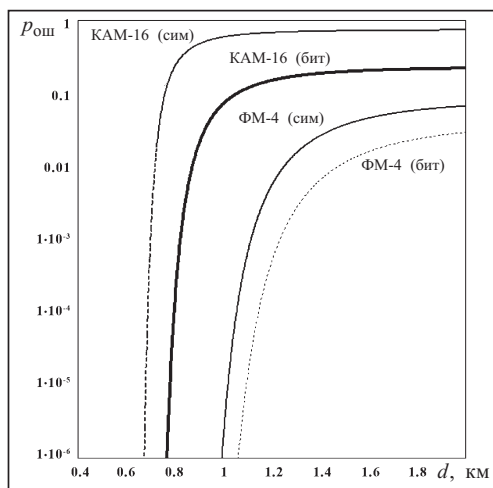


Рис. 1. Кривые зависимости изменения расстояния до БС от вероятности ошибки $p_{\text{ош}}$ для КАМ-16 и ФМ-4

наибольшей обслуженной нагрузки $Y_{\text{обсл}}(p_{\text{ош}})$:

$$\max_{(m, h^2)} \{I_{\text{сист}}\} = \max_{(m, h^2)} \{I(p_{\text{ош}}) \cdot Y_{\text{обсл}}(p_{\text{ош}})\}. \quad (4)$$

Из рис. 1 следует, что использование помехоустойчивого кодирования для передаваемых сигналов способствует увеличению радиуса зоны действия БС. При этом скорость кодирования (отношение пользовательской информации к общему объему передаваемых символов) составляет $\rho = 1/2$ или $\rho = 3/4$. Следовательно, избыточность объема передаваемых символов является ценой за достижение высокой достоверности передачи.

Функционал, максимизирующий объем передаваемой в системе информации $I_{\text{сист}}$ при изменении видов модуляции m и энергетического ресурса h^2 , должен учитывать фактор противоречивости условий доставки сообщений с заданной достоверностью информации $I(p_{\text{ош}})$ и достиже-

Зона охвата территории беспроводной связи имеет форму двух концентрических кругов (рис. 2), внутренний радиус которых определяется применительно к условиям передачи с высокоскоростной манипуляцией КАМ-16, а внешний радиус — к условиям передачи со среднескоростной манипуляцией ФМ-4.

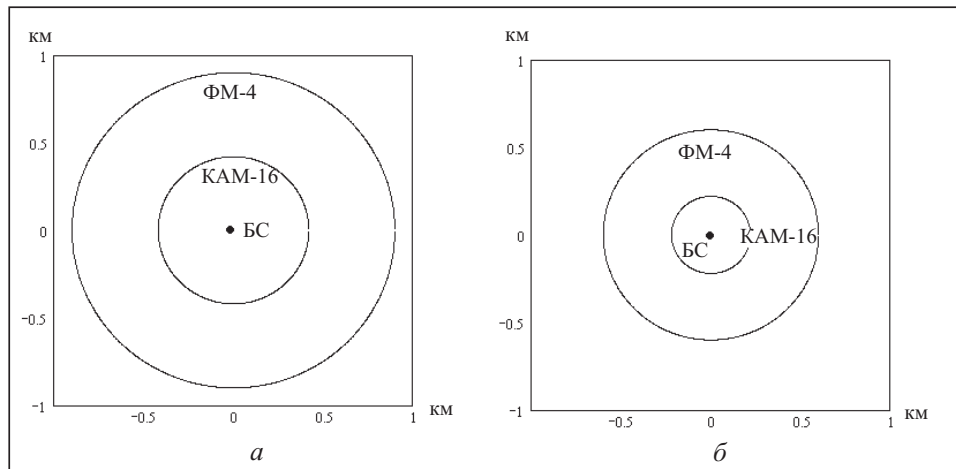


Рис. 2. Графическое отображение зон обслуживания при скорости передачи 240 кбит/с (а) и 960 кбит/с (б)

Управляемые параметры физического уровня (m, h^2) трансформируют параметры модели канального уровня ($\lambda_1; \mu = 1/\tau_0$). Как следует из соотношения (2), изменение скорости V передачи символов в системе влияет на активность (через параметр λ_1) обращения пользователей к базовой станции, меняя не только показатели производительности (3), но и степень конфликта заявок при обслуживании в ограниченном ресурсе беспроводной системы и при вариации дисциплины обслуживания (D):

$$\max_{(D)} \{Y_{\text{обсл}_i}\} \Rightarrow \{\min_{(D)} p_{\text{отказ}_i}\}, \quad (5)$$

где $Y_{\text{обсл}_i}$ — объем обслуженной нагрузки от i -го источника при вероятности отказа в обслуживании $p_{\text{отказ}_i}$.

Варианты формулировки и решения конфликтных задач канального уровня для систем класса CDMA приведены в [5].

Таким образом, на этапе решения задачи объединения показателей физического и канального уровней количественным показателем выступает объем информации, передаваемой от источников мультимедийной информации в общем потоке переданных символов с учетом избыточности средств обеспечения высокой достоверности данных.

При исследовании процессов, отнесенных к более высоким уровням иерархии, необходимо обратиться к базовому постулату теории информации, согласно которому количественная мера информации связана с мерой неопределенности состояния объекта. В сетевом аспекте это означает, что наличие в потоке данных сведений о способе доставки и маршруте транспортировки сообщения (в ущерб объемам данных пользователя) позволяет преодолеть неопределенность положения пакета в произвольной точке транспортировки.

Обмен управляющей информацией между соответствующими уровнями различных систем проводится в виде обмена специальными «заголовками», добавляемыми к полезной информационной нагрузке. Обычно заголовок предшествует пользовательскому сообщению. Каждый нижележащий уровень передающей системы добавляет к поступившему от вышележащего уровня информационному блоку свой заголовок с необходимой управляющей информацией для соответствующего уровня другой системы. Таким образом, объем передаваемых данных увеличивается при движении сверху вниз по уровням системы.

Объем необходимой для маршрутизации информации в узле, в котором последующий маршрут может быть выбран из N альтернатив, составляет $M = \log N$ бит управляющих данных, добавляемых к блоку данных. Следовательно, если при традиционном подходе полезной считается информация, которую генерирует пользователь, то в новом подходе источником дополнительной информации, необходимой для передачи, становятся факторы неопределенности состояния этой сети (маршруты, отказы, задержки).

Наличие новых данных существенно сокращает время доставки $t_{\text{дост}}$ за счет исключения времени поиска маршрута. Тогда функционал, максимизирующий объем переданной информации G_i от i -го источника при вариации протоколов (P), должен учитывать фактор своевременности:

$$\max_{(P)} \{G_i\} \Rightarrow \min_{(P)} \{t_{\text{дост}}\}. \quad (6)$$

Рассмотрим условия реализации функционала (6), исходя из позиций действующей практики и перспектив развития сетевых технологий.

Наиболее актуальной является тенденция преодоления разрыва между технологиями локальных и глобальных сетей. Основой для их объединения служит технология коммутации пакетов, применяемая в настоящее время в вычислительных сетях, а не технология коммутации каналов, используемая при организации телефонной связи. Наиболее ярким свидетельством этого служит глобальная сеть — Интернет. Поэтому на новом витке эволюции телекоммуникации сетевые узлы поддерживают как протоколы локальных сетей Ethernet или Token Ring, так и стек (комплект) протоколов TCP/IP, ставший благодаря Интернету де-факто универсальным сетевым стандартом [6].

Транспортировка данных в современных сетях с коммутации пакетов осуществляется либо по временно организуемому соединению (виртуальному каналу), либо через передающую среду без предварительного установления соединения и создания виртуального канала.

В последнем случае пакет данных отображается датаграммой (Datagram) — нормированной порцией данных для обмена на сетевом и транспортном уровнях модели OSI.

Динамика соотношений между пользовательской и управляющей информацией особенно наглядно проявляется при взаимодействии протоколов, реализующих различные транспортные технологии. Например, протокол IP был разработан для использования в различных сетевых технологиях, каждая из которых может оперировать пакетами различных размеров. Состоит IP-пакет из заголовка длиной, как правило, 20 байт и поля данных. Пакеты, несущие признаки различных протоколов, включают всю служебную информацию всех участвующих объектов (инкапсулируются в IP-датаграмму). Так, базовая длина пакета IP-Ethernet может изменяться от 72 до 1526 байт при типовой структуре, показанной на рис. 3.

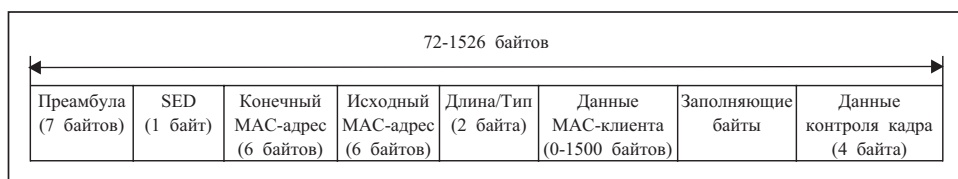


Рис. 3. Наиболее распространенный формат пакета IP-Ethernet

Соответственно доля пользовательской информации в таком пакете изменяется от 75 до 98%. Если бы эта доля составляла 95–98%, то проблему можно было бы считать исчерпанной. Однако существует еще одна важная тенденция, затрагивающая в равной степени как локальные, так и глобальные сети. В них стала обрабатываться информация, ранее несвойственная вычислительным сетям, — речь, видеоизображения, рисунки. Сложность передачи такой мультиме-

дией информации по сети связана с ее чувствительностью к задержкам при передаче пакетов данных, а задержки обычно приводят к искажению такой информации в конечных узлах сети. Так как традиционные службы вычислительных сетей (передача файлов или электронная почта) создают малочувствительный к задержкам трафик и все элементы сетей разрабатывались в расчете на него, то появление трафика реального времени привело к большим проблемам.

В настоящее время эти проблемы решаются различными способами, в том числе с помощью технологии ATM (Asynchronous Transfer Mode), специально рассчитанной на передачу различных типов трафика. Преимущество технологии ATM заключается в возможности передавать различные виды трафика с гарантированным качеством. Технология ATM позволяет передавать информацию в диапазоне высоких скоростей — от 25 до 622 Мбит/с. Поэтому на базе технологии ATM можно создавать высокоскоростные масштабируемые сети, а также объединять сети с различными протоколами на основе легко наращиваемой магистрали и увеличивать пропускную способность по мере развития такой технологии.

Недостатком новой технологии является то, что все пакеты ATM имеют одну и ту же строго определенную длину — 53 байт (октета). Пять октетов из общего числа используются для служебной информации сети, а остальные 48 — для передачи пользовательской информации. При инкапсуляции (внедрении) в Интернет-среду из оставшихся 48 байт на IP-заголовок будет затрачено 20 байт. Доля пользовательской информации сократится до 56%. Как видим, фактор полезного объема данных является в этом случае явно дорогой ценой за решение задач взаимопроникновения транспортных технологий, конвергенции услуг и сокращения времени доставки пакетов в сети.

Несмотря на значительные достижения в направлении создания однородной среды гипермедиа, необходимы большие усилия, чтобы добиться слияния технологий не только локальных и глобальных сетей, но и любых информационных сетей — вычислительных, телефонных, телевизионных и т.д. Тем самым функционал (б) сохраняет свою актуальность как полностью не реализованный.

Таким образом, предложен новый подход к оценке избыточности цифровых потоков на основе принципов теории информации. Исходя из этого положения, избыточность потоков данных в функциях высших уровней иерархии модели OSI является ценой за достижение высоких показателей своевременности.

В заключение отметим, что ведущим направлением эволюции, которую переживает глобальная информационная инфраструктура в современном мире, следует считать тенденцию к слиянию взаимно независимых технологий: информационных и телекоммуникационных. Интегрированная технология является информационно-телекоммуникационной.

Потребности международной интеграции в сфере глобальных информационно-телекоммуникационных технологий обуславливают целесообразность использования сложившейся многоуровневой иерархии протоколов транспортировки информации. Это создает условия для проникновения современных технологий на межгосударственные рынки интеллектуального и производственного разделения труда. Технологическое разграничение уровней эталонной модели взаимодействия открытых систем (модели OSI) до сих пор обуславливало и разграничение сфер научного исследования различных аспектов функционирования информационно-телекоммуникационных систем.

Потребности прогнозирования путей создания и развития эффективных информационных систем обуславливают необходимость разработки новых научных методов количественного анализа производительности информационно-телекоммуникационных систем. Такой подход требует целесообразного слияния уровней модели OSI при адекватном описании процессов транспортировки информации. При этом объектом исследования становятся методы повышения

пропускной способности, качество передачи сообщений в сетях независимо от уровневой иерархии, а исследуемыми показателями — пропускная способность и производительность цифровых систем связи. Критерием эффективности и оптимизации параметров системы является максимум взаимной (транспортируемой) информации при заданных сетевых ресурсах и известных требованиях по достоверности и своевременности доставки информации.

Методологическим базисом нового направления исследований является прикладная теория информации для телекоммуникаций, реализующая идею объединения задач всех уровней модели OSI на основе количественной меры информации. Тем самым новая теория, охватывая на первом этапе задачи физического и канального уровней, создает предпосылки для использования количественной меры информации в задачах исследования характеристик более высоких уровней эталонной модели.

В настоящей статье приведены примеры, иллюстрирующие модели и новые методы анализа параметров единой информационно-телекоммуникационной системы на физическом и канальном уровнях ее описания. На этом этапе ключевым показателем является объем информации мультимедийных источников в общем потоке переданных символов с учетом избыточности средств обеспечения высокой достоверности данных.

При обращении к процессам, отнесенным к более высоким уровням иерархии, предложен новый подход к оценке избыточности цифровых потоков на основе принципов теории информации. Тогда актуальным оказывается базовый постулат теории информации, согласно которому количественная мера информации связана с мерой неопределенности состояния объекта. В сетевом аспекте это означает, что наличие в потоке данных сведений о способе доставки и маршруте транспортировки сообщения за счет объема данных пользователя позволяет преодолеть неопределенность положения пакета в произвольной точке транспортировки. Тем самым избыточность потоков данных в функциях высших уровней иерархии модели OSI является ценой за достижение высоких показателей своевременности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильченко М.Е., Урывский Л.А. Аспекты системного анализа в прикладной теории информации для телекоммуникаций // Кибернетика и системный анализ. — 2010. — № 5. — С. 60–67.
2. Згуровский М.З., Статюха Г.А. Роль инженерной науки и практики в устойчивом развитии общества // Системні дослідження та інформ. технології. — 2007. — № 1. — С. 19–38.
3. Ильченко М.Ю., Кравчук С.О. Телекомунікаційні системи широкосмугового радіодоступу. — К.: Наук. думка, 2009. — 312 с.
4. Урывский Л.А., Мошинская А.В., Мусинова М.С. Оценка производительности системы связи класса UMTS на основе модели Уолвиша-Икегами // Наукові записки Укр. наук.-дослід. ін-ту зв'язку. — 2010. — № 1(13). — С. 23–27.
5. Уривський Л.О., Прокопенко К.А., Мешковська В.Л. Методи подолання конфліктів трафіку мови та даних в стандарті мобільного зв'язку класу CDMA // Там же. — 2010. — № 3(15). — С. 46–51.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. — С.-Пб.: Питер, 2006. — 960 с.

Поступила 11.03.2011