

# О КРАСОТЕ, ТЕХНИЧЕСКОМ СОВЕРШЕНСТВЕ И МЕТОДАХ КОММУТАЦИИ

В.Нетес, д.т.н., профессор МТУСИ / v.a.netes@mtuci.ru

УДК 621.391.1, DOI: 10.22184/2070-8963.2020.86.1.38.44

Обсуждаются целесообразность применения в сетях связи методов коммутации пакетов и коммутации каналов, а также критерии, используемые для их оценки. В частности, рассматриваются их эффективность для различных видов трафика и безопасность. Прослеживается эволюция методов коммутации, объясняются причины возникновения и широкого распространения концепции All-over-IP.

Эта статья продолжает обсуждение, начатое в публикации [1], основная тема которой – сравнение коммутации пакетов и коммутации каналов, анализ целесообразности применения этих методов в современных сетях связи. На первый взгляд, данная тема, активно обсуждавшаяся в конце прошлого и начале этого века, себя исчерпала, поскольку мир сделал выбор в пользу коммутации пакетов. Однако по нескольким причинам обсуждение имеет смысл.

Во-первых, в процессе развития возможен возврат к техническим решениям, казалось бы, отвергнутым ранее. Например, замена аналоговых цифровыми системами передачи привела к переходу от частотного к временному разделению каналов. Однако появление технологии WDM вернуло применение частотного разделения.

Во-вторых, может возникнуть необходимость рассмотрения новых аспектов обсуждаемой темы. В частности, в публикации [1] анализируется информационная безопасность, которой раньше не уделялось столь серьезного внимания.

Наконец, новые поколения связистов зачастую плохо знают историю развития отрасли. Между тем, знание деталей возникновения используемых технологий помогает лучше понять, как они устроены, увидеть их сильные и слабые стороны. Кроме того, уроки прошлого помогают принимать более обоснованные решения и избегать ошибок. Неслучайно профессор Б.С.Гольдштейн в одной из своих недавних книг напоминает [2, с. 74] о прошедшей более

15 лет назад дискуссии, посвященной методам коммутации [3-5].

В этой статье пойдет речь в основном о сетях связи общего пользования, хотя в публикации [1] немалое внимание уделено инфраструктуре специального назначения. К технологическим сетям и сетям спецназначения предъявляются свои особые требования. При этом на первый план могут выходить не экономическая эффективность и техническое совершенство, а другие критерии (например, оперативность, скрытность, надежность, живучесть и др.). Выбирать критерии, как и формулировать требования к таким сетям, в каждом конкретном случае должны специалисты, хорошо знающие специфику организаций и органов власти, для нужд которых создается инфраструктура, характер ее использования и т.п.

## О КРАСОТЕ В НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Начинается публикация [1] с рассуждений о красоте в науке, приводятся ссылки на публикации академика А.Б.Мигдала. Однако самым большим ценителем красоты среди физиков был П.Дирак – один из основоположников квантовой механики, лауреат Нобелевской премии. Когда в 1956 году при посещении МГУ его по традиции попросили сформулировать свое научное кредо, ученый написал на доске: "Физический закон должен обладать математической красотой" [6] (кстати, одна из глав его научной биографии [6] называется "Принцип математической красоты"). П.Дираку принадлежит

и еще более радикальное высказывание: "Для наших уравнений важнее быть красивыми, чем соответствовать эксперименту". С этим утверждением согласны далеко не все физики [7]. Если применимость данного принципа в теоретической физике можно обсуждать, то для техники он явно не подходит. Однако и в технике, как справедливо указано в публикации [1], также важны эстетические критерии. В частности, в авиации широко известно высказывание: "Хорошо летают только красивые самолеты" (вариант "Некрасивые самолеты не летают"), которое чаще всего приписывают А.Н.Туполеву (иногда А.С.Яковлеву и О.К.Антонову, возможно, все они говорили нечто подобное).

Красота – вещь субъективная. В частности, автору этих строк, в отличие от автора [1], "системное решение, сочетающее в себе и каналные, и пакетные технологии" не представляется более красивым, чем "идея NGN, как и поздние концепции, созданные на ее основе". Поэтому далее будем рассматривать более точные технические характеристики.

#### **КОММУТАЦИЯ ПАКЕТОВ И КАНАЛОВ: КПД, ЭВОЛЮЦИЯ, ПРИМЕНЕНИЕ**

Приведенные в публикации [1] оценки коэффициента полезного действия (КПД) IP-телефонии требуют уточнения. Во-первых, там сказано, что длина заголовка IP-пакета составляет как минимум 40 байт. Однако такую длину имеет заголовок в 6-й версии протокола IP (IPv6). В гораздо более распространенной на сегодняшний день, четвертой, версии протокола IP (IPv4) длина заголовка пакета вдвое меньше – 20 байт. Во-вторых, недостаточно учесть только заголовок IP-пакета. Надо принимать в расчет накладные расходы, то есть служебную информацию, присущую всем протоколам, используемым при передаче речевой информации. Полезная информация чаще всего размещается в кадрах Ethernet, а поверх IP работают протоколы UDP и RTP.

Удобный онлайн-калькулятор для расчетов различных вариантов организации IP-телефонии, снабженный подробными и четкими пояснениями, приведен в [8]. Для типичной ситуации Ethernet + IPv4 + UDP + RTP суммарный объем служебной информации составляет 78 байт, а если в сети Ethernet используются VLAN по IEEE 802.1Q, то он увеличится еще на 4 байта. С учетом этого для рассмотренных в публикации [1] кодеков G.711 (скорость 64 кбит/с) и G.729 (8 кбит/с) получим значения КПД примерно 67 и 20%, которые ниже указанных в [1] (80 и 33%).

Таким образом, действительно "эффективность IP-телефонии существенно ниже по сравнению с предшествующей технологией – цифровой коммутацией каналов" [1], ухудшается при ее использовании и качество передачи речи (кстати, автор этих строк критиковал IP-телефонию почти 20 лет назад [9]).

А вот с тезисом, что цифровую коммутацию каналов можно рассматривать как частный случай реализации пакетной технологии [1], трудно согласиться. Действительно, обмен между каналами осуществляется блоками в один байт, однако отсутствие в них заголовка не позволяет считать их пакетами. Поэтому профессор В.О.Шварцман в обстоятельном анализе методов коммутации [10] назвал такой метод коммутацией байтов и отнес его к квазикоммутации каналов.

Рассмотрим обратную ситуацию, когда для передачи данных используется коммутация каналов. При этом КПД также будет весьма низок [10]. Именно поэтому при создании вычислительных сетей была выбрана коммутация пакетов, "которая соответствует внутренним характеристикам вычислительных машин и обрабатывает информацию во многом таким же способом, как и вычислительная машина" [11, с. 412].

Здесь стоит кратко напомнить историю коммутации пакетов [11, 12]. В начале 1960-х годов американский исследователь П.Баран (в другом написании П.Бэрэн), работавший в корпорации RAND над созданием военных сетей передачи речи, предложил подобный метод с целью обеспечения живучести сети. Однако уровень развития техники в то время не позволил реализовать замысел. Кстати, это пример того, как ради живучести сети специального назначения разработчики готовы были пойти на потери и неудобства, обусловленные пакетной передачей речи. Во второй половине 1960-х годов коммутация пакетов начала применяться для вычислительных сетей, создаваемых двумя организациями: британской Национальной физической лабораторией (ее сотрудниками были авторы [11], именно Д.Дэвис ввел термин "пакет") и Агентством перспективных исследовательских проектов ARPA (США). Как известно, в процессе эволюции сети ARPA возник Интернет. Кстати, тиражируемый многими публикациями тезис, что в данном случае коммутация пакетов была выбрана для обеспечения живучести в условиях военного времени, не более чем миф [12]. На самом деле причина состояла в указанном выше соответствии этого метода характеру передачи данных в вычислительной сети.

Примерно в то же время в СССР началась разработка АСУ стратегическими войсками, основу которой должна была составлять глобальная сеть обмена данными. Введенная в строй в 1980 году сеть была создана под руководством И.А.Мизина (впоследствии академика, лауреата Ленинской и Государственной премий) [13]. Она базировалась на коммутации пакетов (кодограмм в терминологии разработчиков), обеспечивающей более эффективное использование каналов и более высокую надежность. Это было сделано без применения зарубежных аналогов. Разработанные технические решения в чем-то превосходили, а в чем-то и превзошли решения, используемые в сети ARPANET. Однако закрытый характер разработок воспрепятствовал их использованию за пределами данной сети. Позже, когда И.А.Мизин возглавил Институт проблем информатики РАН, он ставил задачу создания перспективной системы протоколов, которая могла бы явиться вкладом нашей страны в международные рекомендации и послужить основой будущих международных стандартов. К сожалению, задача не была решена.

Создание программно-управляемых АТС привело к тому, что коммутация пакетов проникла и в телефонные сети, в 1970-е годы появилась сигнализация по общему каналу. Логика здесь простая: коль скоро мозгом АТС стала вычислительная машина, то и взаимодействовать с себе подобными она должна так, как удобно вычислительным машинам, то есть посредством коммутации пакетов.

Итак, для различных видов трафика предпочтительными являются разные методы коммутации. Необходимость оказания пользователям разнообразных услуг ведет к трем возможным сценариям создания сетей:

- отдельные специализированные сети с различными методами коммутации для разных видов услуг;
- единая (интегральная) сеть, предоставляющая разнообразные услуги с использованием различных методов коммутации;
- единая (мультисервисная) сеть, на базе которой оказываются всевозможные услуги с использованием одного метода коммутации.

Исторически электросвязь развивалась сначала по первому сценарию. Когда в середине 20 века возникла передача данных, появление которой было обусловлено развитием вычислительной техники, для нее использовали существующие телефонные и телеграфные сети, а затем стали создаваться специализированные сети, в том числе пакетные. Однако это было неудобно и неэкономично

как для пользователей, так и для операторов связи. Поэтому возникла технология ISDN, реализующая второй из указанных сценариев. В ней наряду с коммутацией каналов предусматривалась возможность применения коммутации пакетов для передачи данных – существовавший на тот момент протокол X.25 и специально разработанные технологии ретрансляции и коммутации кадров (frame relaying и frame switching). Поэтому коммутацию в ISDN можно считать гибридной [10]. Кстати, технология ретрансляции кадров стала весьма популярной, правда, не в рамках ISDN, а для построения специализированных сетей передачи данных. Однако технология ISDN не получила того распространения, на которое рассчитывали ее создатели. Одна из причин – неудобство и неэффективность использования в одной сети разных методов коммутации. Были и другие разработки, направленные на совместное применение разных методов коммутации в единой сети. В частности, весьма привлекательным (по крайней мере, теоретически) выглядел метод адаптивной коммутации, предложенный профессором С.И.Самойленко [14, 15]. Его идея предусматривала гибкое сочетание коммутации каналов и пакетов, однако эта разработка осталась только на бумаге.

Таким образом, успешный опыт совместного применения разных методов коммутации, предлагаемого в публикации [1], автору неизвестен. Что касается упоминаемой в [1] недавней статьи [16], содержащей вывод о неизбежности длительного сосуществования коммутации каналов и пакетов, то для правильного его понимания необходим внимательный анализ этой публикации. Он показывает три области, в которых, по мнению авторов [16], целесообразно применение коммутации каналов. В первом случае рассматриваются сети связи специального назначения – значительная часть [16] посвящена анализу опыта организации сетей связи для нужд Министерства обороны США.

Во втором случае под коммутацией каналов понимается коммутация высокоскоростных оптических трактов в транспортной сети с использованием технологий MPLS (по всей видимости, здесь уместнее говорить о GMPLS), OTN и SDN. Подобная коммутация в статье [3] более точно названа кроссовой. Эти тракты соединяют IP-маршрутизаторы, а пользовательский трафик, в том числе телефонный, переносится в IP-пакетах. Третий случай – применение коммутации каналов в микроэлектронике внутри монокристаллических микрочипов (network-on-chip). Все три случая не имеют непосредственного отношения к обсуждаемой здесь теме.

В конце 20 века развитие пошло путем унификации, а не гибридизации методов коммутации [10], то есть настал черед третьего сценария. Предпочтение было отдано методу коммутации, который более эффективен для переноса доминирующего в сети вида трафика. Поскольку стремительно растущий трафик данных стал превосходить телефонный, выбор коммутации пакетов был предрешен. Так появилась концепция NGN – мультисервисной сети на основе коммутации пакетов. Недаром в [17] дается такое неформальное определение: "Сети NGN – это технические решения, появившиеся на этапе развития цифровой сети, когда трафик данных оказался важнее речевого трафика, а компьютеры – важнее телефонов".

### О концепции All-over-IP

У коммутации пакетов много разновидностей [10]. Среди них в итоге победило семейство протоколов, которое возникло в сети ARPANET, а затем стало использоваться в интернете. Почему так произошло? Почему, например, технология ATM, специально разработанная для построения мультисервисных сетей, проиграла протоколу IP, изначально созданному только для передачи данных? Этот вопрос уже не раз обсуждался, в частности, автор посвятил ему статью [12], в которой указан целый ряд причин успеха интернета и его протоколов.

Здесь упомянем одну из причин. Как было отмечено в статьях [4, 12] и повторено в [2], в конкуренции стандартов де-юре, принятых официальными органами по стандартизации, и стандартов де-факто, созданных неформальными организациями, побеждают, как правило, последние. А среди организаций по стандартизации в телекоммуникациях наиболее неформальная – комитет IETF, разрабатывающий стандарты интернета, его деятельности в наибольшей степени присущи открытость и демократизм [18]. Об этом говорят, например, впечатления от участия в заседании этой организации, которые ярко описал профессор М.А.Шнепс-Шнеппе [19, с. 6-7] (в книге также хорошо передана ностальгия связистов "старого поколения" по временам коммутации каналов [19, с. 9]). Отметим попутно, что именно благодаря опыту IETF и конкуренции с ним МСЭ предоставил возможность свободного скачивания своих Рекомендаций [20].

Кроме того, в конце 20 века в большинстве стран, в том числе в России, в результате демонополизации и либерализации рынков стали активно развиваться альтернативные операторы связи и поставщики инфокоммуникационных услуг. Для них, в отличие от традиционных операторов,

привыкших к официальным стандартам, открытые и прагматичные разработки интернет-сообщества оказались более привлекательными.

В результате в основу сетей NGN был положен протокол IP, что привело к концепции All-over-IP. В публикации [1] утверждается, что эту концепцию "научное сообщество (по крайней мере, в России) приняло без предварительного проведения серьезных научных исследований". Высказывание далеко не бесспорно. Исследования в этой области велись, хотя, конечно, их серьезность и достаточность можно оспаривать. В России в конце 1990-х и самом начале 2000-х годов выполнялись соответствующие НИР по заказу научно-технического управления Министерства/Госкомитета связи, эти вопросы обсуждались в рабочих группах Координационного совета по внедрению новых технологий, действовавшего при Госкомсвязи в конце 1990-х годов. Во всяком случае, тогда ситуация в этом плане была лучше, чем сейчас, когда подобные органы отсутствуют.

Кроме того, по такому пути пошел весь мир, что определило и российский выбор. История учит, что всякий раз, когда наша страна отдает предпочтение особому пути, потом этот выбор осложняет нам жизнь, а зачастую заводит в тупик. Например, специфические межстанционные протоколы сигнализации и процедуры обслуживания вызовов в телефонной сети, принятые в СССР, впоследствии вызвали значительные затруднения при внедрении цифровых АТС, построении ISDN, реализации концепции интеллектуальной сети и т.д. [21]. Тупиковым направлением стала разработанная в 1990-е годы в ЦНИИС интегральная система коммутации С-32, предусматривавшая доведение до абонента цифрового потока со скоростью 32 кбит/с [22].

Сказанное не означает, что нужно слепо копировать предлагаемое за рубежом. Нет, хотелось бы, чтобы наши ученые и специалисты вместе с иностранными коллегами участвовали в обсуждении и выборе путей развития телекоммуникаций, предлагали что-то новое и продвигали свои решения на мировой арене, о чем, как уже упоминалось, писал академик И.А.Мизин. К сожалению, этому мешает ряд обстоятельств, о которых сказано ниже.

Говоря о концепции All-over-IP, следует обратить внимание на то, что сейчас доминируют универсальные решения. Например, большинство современных пользователей предпочитают смартфон, который заменяет им телефон, компьютер, фотоаппарат, навигатор, калькулятор, будильник, записную книжку. С одной стороны, удобно,



но с другой... Вспоминается сказка К.Д.Ушинского "Гусь и журавль" [23]. В ней гусь хвастается: "Какая я, право, удивительная птица! И хожу-то я по земле, и плаваю-то по воде, и летаю по воздуху: нет другой такой птицы на свете! Я всем птицам царь!". На это ему журавль отвечает: "Глупая ты птица, гусь! Ну, можешь ли ты плавать, как щука, бегать, как олень, или летать, как орел? Лучше знать что-нибудь одно, да хорошо, чем все, да плохо". Однако сейчас, похоже, настало время гусей.

В конце этого раздела стоит добавить, что хотя протокол IP, в отличие от таких пакетных технологий, как X.25, Frame Relay и ATM, не предполагает установления виртуальных соединений, в современных мультисервисных сетях он, как правило, применяется совместно с MPLS, использующей такие соединения. И это шаг в сторону коммутации каналов.

## **О БЕЗОПАСНОСТИ МЕТОДОВ КОММУТАЦИИ**

Важный аспект, учитываемый в публикации [1] при сравнении коммутации каналов и пакетов, – информационная безопасность. Утверждается, что построение сети с коммутацией каналов на полностью отечественном оборудовании позволит решить задачу обеспечения информационной безопасности. При этом проводится аналогия с использованием для расчетов таких устройств, как логарифмическая линейка и канцелярские счеты. Сравнение было бы уместным, если бы предлагалось вернуться к ручной коммутации каналов. Однако в [1] имеется в виду, конечно, автоматическая коммутация с использованием современного цифрового оборудования. К слову, ручная коммутация вовсе не безопасна – есть версия, что Э.Б.Струуджер изобрел автоматическую коммутацию после того, как пострадал от действий телефонистки, которая использовала в личных целях получаемую от абонентов информацию [24].

Если сравнивать цифровые сети коммутации каналов и пакетов, то непонятно, почему первые обеспечивают большую безопасность. В упомянутой выше разработке П.Барана для телефонной сети специального назначения коммутация пакетов была выбрана для обеспечения не только живучести, но и безопасности. Предполагалось, что перехват отдельных пакетов даст доступ только к фрагментам разговоров, из которых их содержание может остаться нераскрытым. Высочайший уровень безопасности обеспечивала упомянутая выше сеть обмена данными специального назначения [13].

С другой стороны, не стоит переоценивать опасность применения отечественного оборудования. В связи с этим можно привести слова упомянутого в [1] генерального директора ЦНИИС профессора Л.Е.Варакина – главного конструктора и научного руководителя системы С-32 [22]. Выступая на одном из совещаний, он сказал, что не может гарантировать отсутствие недокументированных возможностей в ее программном обеспечении, разработанном в ЦНИИС.

## **О СОВОКУПНОЙ СТОИМОСТИ ВЛАДЕНИЯ И НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Еще один аспект сравнения коммутации каналов и пакетов, рассмотренный в публикации [1], – экономический. Утверждается, что построение сети на основе коммутации пакетов может оказаться предпочтительным по критерию минимума капитальных затрат. Однако критерий совокупной стоимости владения для долгосрочной программы создания и развития сети может привести к выбору коммутации каналов. Возможно, это действительно так, конечно, для подобных выводов нужен серьезный технико-экономический анализ.

Проблема состоит в том, что сейчас, как правило, ориентируются не на долгосрочную, а на ближайшую перспективу. Большинство крупных операторов связи – публичные акционерные общества, их руководители в первую очередь озабочены курсом акций и дивидендами. Крупные капиталовложения вначале, пусть даже сулящие в конце пути лучшие результаты (меньшую совокупную стоимость владения), ведут в краткосрочной перспективе к снижению прибыли, поэтому, скорее всего, будут негативно восприняты акционерами. Э.Деминг – один из создателей японского экономического чуда – включил подобное стремление к сиюминутным интересам и краткосрочность мышления в число "смертельных болезней" управления [25]. К сожалению, они широко распространены.

Эта же причина препятствует проведению исследовательских работ. Например, согласно методике оценки ценности результатов НИР в "Ростелекоме" [26] работы, срок внедрения которых превышает три года, получают нулевую оценку по одному из показателей, что лишает их шансов на общую высокую оценку и, как следствие, на продолжение. Понятно, что поисковые и перспективные исследования в таких условиях вряд ли станут проводиться. Вспоминаются слова из рекламных материалов одной зарубежной фирмы, где было написано примерно следующее: "Наша компания – семейное предприятие, а не публичное

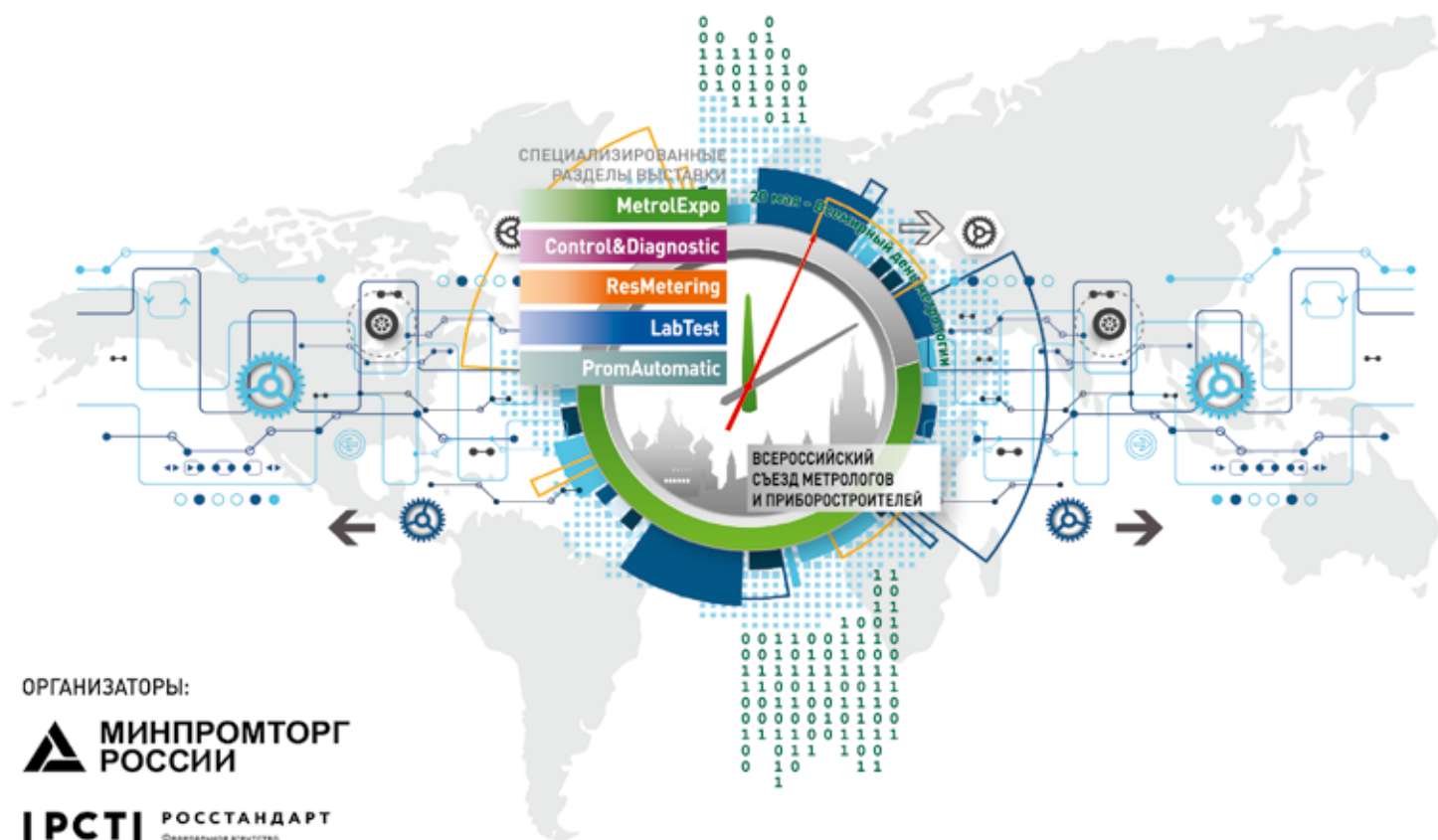
16-й МОСКОВСКИЙ МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ  
**ТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ –  
ОСНОВА КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ**

2-4 июня 2020 г., Москва,  
ВДНХ, павильон 75

16<sup>th</sup> MOSCOW INTERNATIONAL  
INNOVATION FORUM

**ACCURATE MEASUREMENTS –  
THE BASIS FOR QUALITY AND SAFETY**

June 2-4, 2020, Moscow,  
VDNH, Exhibition hall 75



ОРГАНИЗАТОРЫ:



СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ



**METROLEXPO**  
МЕТРОЛОГИЯ, ИЗМЕРЕНИЯ И ИСПЫТАНИЯ



**CONTROL&DIAGNOSTIC**  
КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА



**LABTEST**  
ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ



**PROMAUTOMATIC**  
ПРОМЫШЛЕННАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ



**RESMETERING**  
УЧЕТ ЭНЕРГОРЕСУРСОВ



**WEIGHT SALON**  
ВЕСОВОЙ САЛОН

ФОРУМ 2019 г. (ЦИФРЫ И ФАКТЫ):

Участники – 256 компаний из 24 стран мира

Посетители – 4870 специалистов

Площадь экспозиции – 6500 м<sup>2</sup>

Приборы и оборудование – более 2000 ед.

Докладов и презентаций – 68 чел.

Участников съезда – 1100 чел.



ДИРЕКЦИЯ ФОРУМА

Тел./факс: +7 [495] 937-40-23

E-mail: metrol@expoprom.ru

Спешите забронировать стенд  
[www.metrol.expoprom.ru](http://www.metrol.expoprom.ru)

акционерное общество. Поэтому мы заботимся о долгосрочной перспективе и активно ведем исследование и разработки".

В публикации [1] справедливо говорится о необходимости комплексных междисциплинарных исследований путей развития телекоммуникационной системы. Однако в силу их долговременного и общего характера бизнес вряд ли профинансирует такие работы, а ситуация с госзаказами на подобные исследования, как уже отмечалось, за последние 20 лет только ухудшилась.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги, можно сказать, что концепция All-over-IP появилась в ходе естественного развития телекоммуникаций и отражает господствующее в современном мире стремление к глобализации, унификации, универсализации. Кроме того, распространению стандартов, пришедших из мира интернета, способствовали их экономичность и практичность, открытость и демократичность разработки. Последующие технические решения продолжают эту тенденцию.

Например, виртуализация сетевых функций означает их реализацию не в специализированном оборудовании, а на основе серверов общего назначения. Однако универсальные решения не могут быть верхом технического совершенства во всех аспектах и областях применения – это неизбежная плата за универсальность.

## ЛИТЕРАТУРА

- Соколов Н. Использование критерия "степень технического совершенства" // ПЕРВАЯ МИЛЯ. 2019. № 8. С. 56–60.
- Гольдштейн Б.С. Инфокоммуникационные сети и системы. – СПб: БХВ-Петербург, 2019. 208 с.
- Нейман В.И. К дискуссии о коммутации // Электросвязь. 2004. № 1. С. 22–24.
- Нетес В.А. Мультисервисные сети: сумма технологий // Электросвязь. 2004. № 9. С. 20–23.
- Шварцман В.О. Выбор технологии передачи и коммутации в мультисервисных сетях на основе оптических кабелей // Электросвязь. 2003. № 8. С. 33–39.
- Kragh Н. Dirac: A Scientific Biography. – Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 390 p.
- Freedman D.Z. Some Beautiful Equations of Mathematical Physics. Dirac Lecture delivered at the International Centre for Theoretical Physics, Trieste, 19 November 1993. CERN-TH.7367. Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/hep-th/9408175.pdf>
- Расчет полосы пропускания для VOIP-разговоров. Режим доступа: <https://planetcalc.ru/3144/>
- Нетес В.А. IP-телефония: "светлое будущее" или...? // Сети и системы связи. 2000. № 8. С. 84–85.
- Шварцман В.О. Алгоритмы коммутации. Диалектика развития // Электросвязь. 1994. № 11. С. 4–8.
- Дэвис Д., Барбер Д. Сети связи для вычислительных машин / Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. 680 с.
- Нетес В.А. Уроки интернета // Вестник связи. 2006. № 4. С. 62–68.
- Игорь Александрович Мизин – ученый, конструктор, человек / Под ред. акад. Соколова И.А. – М.: ИПИ РАН, 2010. 320 с.
- Самойленко С.И. Адаптивная коммутация в вычислительных сетях: Предварит. публ. – М., 1978. 78 с.
- Самойленко С.И. и др. Вычислительные сети. Адаптивность, помехоустойчивость, надежность. – М.: Наука, 1981. 277 с.
- Sneps-Snepe M., Namiot D. Rethinking the power of packet switching in the coming cyber threats era // International Journal of Open Information Technologies. 2019. Vol. 7. No 8. P. 48–58.
- Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008. 400 с.
- Нетес В.А. Как создаются стандарты интернета // Стандарты и качество. 2011. № 8. С. 36–39.
- Шнепс-Шнеппе М.А. Интернет-телефония: протокол SIP и его применение. – М.: МАКС Пресс, 2002. 286 с.
- Нетес В.А. Распространение стандартов: опыт телекоммуникаций // Стандарты и качество. 2014. № 5. С. 44–45.
- Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи / 4-е изд. – СПб: БХВ-Петербург, 2014. Т. 1. 448 с.
- Интегральная система коммутации С-32. Принципы и реализация / Под ред. Варакина Л.Е. – М., 2001. 240 с.
- Ушинский К.Д. Сказки и рассказы. – М.: АСТ, 2019. 256 с.
- Гольдштейн Б.С. Системы коммутации / 2-е изд. – СПб: БХВ-Петербург, 2014. 314 с.
- Деминг Э. Выход из кризиса: Новая парадигма управления людьми, системами и процессами / Пер. с англ.; 6-е изд. – М.: Альпина Паблшер, 2014. 417 с.
- Милицин Ю.А., Шевелев С.В. Методика оценки ценности результатов НИР // Вестник связи. 2014. № 3. С. 45–48.





## XIV МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАВИГАЦИОННЫЙ ФОРУМ

12-я международная  
выставка

# НАВИТЕХ

[www.navitech-expo.ru](http://www.navitech-expo.ru)

## 21–24 апреля 2020

ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»  
РОССИЯ, МОСКВА



Реклама 12+

Организатор форума:



Оператор форума:



Стратегические партнеры форума:



Организатор выставки:

