

$$\begin{aligned}
 x &= 3,24 - 3f^{*0,4}, & 0,1 < f^* < 0,24; \\
 x &= 2,06 - 2,19f^*, & 0,24 < f^* < 0,57; \\
 x &= 2,069 - 2,19f^*, & 0,57 < f^* < 0,675; \\
 x &= k(0,79788 - f^*)^{0,5}, & 0,675 < f^* < 0,79788,
 \end{aligned}
 \tag{17}$$

где  $k = 1,64$  при  $f^* < 0,718$ ;  $k = 1,61$  при  $0,718 < f^* < 0,775$ ;  $k = 1,59$  при  $0,775 < f^*$ .

Ошибка  $\Delta x$  аппроксимации (17) составляет 0,1–1,1% всюду кроме малых областей  $x < 0,02$  ( $0,79775 < f^* < 0,79788$ ) и  $x > 3,345$  ( $f^* < 0,003$ ), в которых неточность аппроксимации влияет на точность оценки интеграла (16) меньше, чем ошибки  $\Delta x$  в области  $0,02 < x < 3,345$ .

Подстановка (17) в (16) после вычислений приводит к  $E(f^*) = 0,25$ , т. е. среднее значение  $f^*(x)$  составляет 0,3 М. При  $M = 1000$  мин. месячный трафик среднего пользователя равен 300 мин.

Данный подход может быть использован для других исходных данных (доли наиболее активных абонентов и приходящегося на эту долю процента трафика всех абонентов), нежели рассмотренные выше применительно к МГТС (напри-

мер, 25% абонентов создают 45% трафика). При этом должны быть скорректированы характеристики кривой аппроксимирующего нормального распределения (параметры  $E$  и  $D$ ) и ограничения (6), (7). После этого изменится результат.

При рассмотрении различных типов нагрузки и варьируемого соотношения между ее отдельными составляющими (доли передачи речи и данных) может быть использован подход, изложенный в [3]. Данная статья ориентирована исключительно на ТФОП МГТС.

**Заключение.** Методика использована в работах ОАО ИАС в 2006 г. при расчетах требуемых канальных емкостей для подключения телефонных абонентов к МГТС.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Корн Г., Корн Е. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1974. – 831 с.
2. Иоффе А.Д., Тихомиров В.М. Теория экстремальных задач. – М.: Наука, 1974. – 479 с.
3. Савостицкий Ю.А. Метод определения требуемой полосы магистральной для пропуска мультимедийного трафика // Электросвязь. – 2004. – №3.

Получено после доработки 24.04.07

УДК 621.396

## ЭВОЛЮЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К СЕТЯМ ДОСТУПА

М. Звягинцев, аспирант МТУСИ

**Введение.** Современный подход к развитию системы электросвязи базируется на концепции сети следующего поколения (ССП), известной также как NGN — Next Generation Network. Операторы связи предполагают переходить к СПП за счет модернизации сетей телефонной связи [1, 2], в которой "узким местом" является сеть доступа (СД) [3], созданная для передачи информации в полосе пропускания канала тональной частоты. При переходе к СПП самые сложные проблемы возникают при развитии СД.

Большинство технических решений по модернизации СД основаны на максимальном использовании эксплуатируемых многопарных абонентских кабелей. Этот подход оправдан для получения максимального экономического эффекта в течение ближайших лет. Он может рассматриваться как задача нахождения локального максимума в точке, близкой к  $t = 0_+$ , некоторой функции  $f(t)$ , определяющей доходы оператора связи. Анализ ряда прогностических оценок [4] показывает, что функция  $f(t)$  имеет несколько экстремумов. Используя новые средства в СД, целесообразно найти экстремумы функции  $f(t)$  в границах интервала  $(0, T_{\max})$ , выделив среди них глобальный максимум.

Выбор значения  $T_{\max}$  осуществляется с учетом характера поставленной задачи. При проектировании СД величиной  $T_{\max}$  можно считать "время жизни"  $T_l$ . Обычно временем жизни технического устройства считается срок службы  $T_0$ . Если  $T_l \approx T_0$ , то проект введения в эксплуатацию устройства очень удачен. На практике встречаются ситуации, когда  $T_l \ll T_0$ . Это говорит об ошибочности проекта. Для выбора эффективного пути модернизации СД целесообразно определить соответствующие требования к моменту  $T_{\max} = T_0$ .

**Перечень требований к перспективной СД.** В рекомендации МСЭ подчеркивается, что в СД не осуществляется обработка информации пользователя и сообщений, которые передаются в системе сигнализации. Это положение позволяет ограничить перечень показателей, предъявляемых к перспективной СД.

Причина появления технологии ADSL [5] — необходимость повышения скорости обмена информацией. Тенденция роста скорости обмена информацией набирает силу [4]. Этот показатель можно выразить как функцию времени  $B(t)$ . Несомненно, что функция  $B(t)$  существенно влияет на основные технические характеристики перспективной СД и на объем инвестиции для ее создания. Есть все основания считать, что функция  $B(t)$  монотонна на отрезке времени  $(0, T_{\max})$ .

Сети следующего поколения относятся к конвергентным сетям, предоставляющим широкий спектр услуг. Поддержка множества услуг одной сетью возможна только при обеспечении высокой надежности СПП. Мерами надежности СПП можно считать коэффициент готовности  $A(t)$  и время устранения неисправностей  $R(t)$ . На отрезке времени  $(0, T_{\max})$  функция  $A(t)$  будет возрастать. Характер этого процесса можно описать дискретной функцией, стремящейся к единице. Функция  $R(t)$  на отрезке  $(0, T_{\max})$  будет убывать. Этот процесс также можно представить дискретной функцией, стремящейся к минимально возможному уровню.

Появление новых видов услуг (например, распределение программ телевидения высокой четкости) требует повышения показателей качества передачи информации. Примером таких показателей служит коэффициент ошибок по битам, которые можно выразить с помощью функции  $E(t)$ . Соответствующий

коэффициент будет стремиться к минимально возможному значению  $E_{\min}$ , поэтому его можно представить дискретной функцией, стремящейся к  $E_{\min}$ .

Можно выделить и другие важные показатели для перспективной СД и ССП в целом. Однако четыре вышеперечисленные функции позволяют сформулировать основные требования к перспективным СД. При разработке этих требований следует отметить характер влияния функций  $B(t)$ ,  $A(t)$ ,  $R(t)$  и  $E(t)$  на свойства СД. Функция  $F(t)$  является общей для четырех зависимостей,  $B(t)$  и  $E(t)$  в значительной степени определяют выбор среды распространения сигнала, а  $A(t)$  и  $R(t)$  существенно влияют на выбор структуры сети доступа.

**Выбор среды распространения сигнала для СД.** С точки зрения долгосрочного развития СД практическое значение приобретают два основных направления: решения ФТТх (ОВ до точки “х”) и технологии BWA — широкополосного беспроводного доступа [3, 6]. Перспективные СД, основанные на новом поколении систем спутниковой связи, станут использоваться существенно реже. СД, построенные на основе решений ФТТх и BWA, будут отвечать всем требованиям, которые формально могут быть представлены функциями  $B(t)$  и  $E(t)$ .

Предельная скорость доступа на интерфейсе пользователь—сеть в [4] определяется значением 100 Мбит/с. В некоторых компаниях (например, Infonetics Research) считают, что эта величина может возрасти до 1 Гбит/с. Столь высокие скорости обмена данными будут востребованы небольшими группами абонентов, но для магистрального участка СД это не существенно. Именно на этом участке придется заменять многопарные кабели с медными жилами. Чаще всего оптимальным решением становится оптический кабель (рис. 1). Причем длина магистрального участка достигнет примерно 80% всей протяженности СД, длина распределительного участка СД, в которой еще останутся кабели с медными жилами, заметно сократится.



Рис. 1

Структура СД, показанная на рис. 1, соответствует технологии ФТТС — оптическое волокно (ОВ) до распределительного шкафа (Curb). Для выбора принципов модернизации распределительного участка можно использовать подход, основанный на анализе кривых Лоренца и коэффициента рассеяния Джини [7]. Варианты модернизации распределительного участка СД могут заметно различаться между собой, например:

- оставить в эксплуатации все используемые абонентские кабели;
- проложить на некоторых направлениях оптические кабели;
- заменить абонентские кабели системой BWA.

Эти решения должны удовлетворять требованиям по полосе пропускания и нормам на качество передачи информации. Формально эти требования определяются функциями  $B(t)$  и  $E(t)$ .

**Выбор структуры СД.** Современные СД строятся с помощью удаленных модулей (УМ), которые часто располагают-

ся в тех точках, где размещались распределительные шкафы. За счет использования ранее созданных линий межшкафной связи [3] могут создаваться кольца (рис. 2), обеспечивающие повышение надежности СД на уровне ее магистрального участка. Такой подход лишь частично решает задачи, которые касаются требований ко времени восстановления работоспособности всей системы электросвязи. Эти требования могут быть выражены функцией  $R(t)$ .

Для получения высоких значений коэффициента готовности необходимы меры по повышению надежности распределительного участка СД. Причем высокая надежность должна быть обеспечена тем абонентам, которые заключают с оператором связи соглашения об уровне обслуживания [3]. Требования к надежности этого фрагмента СД могут быть выражены функцией  $A(t)$ .

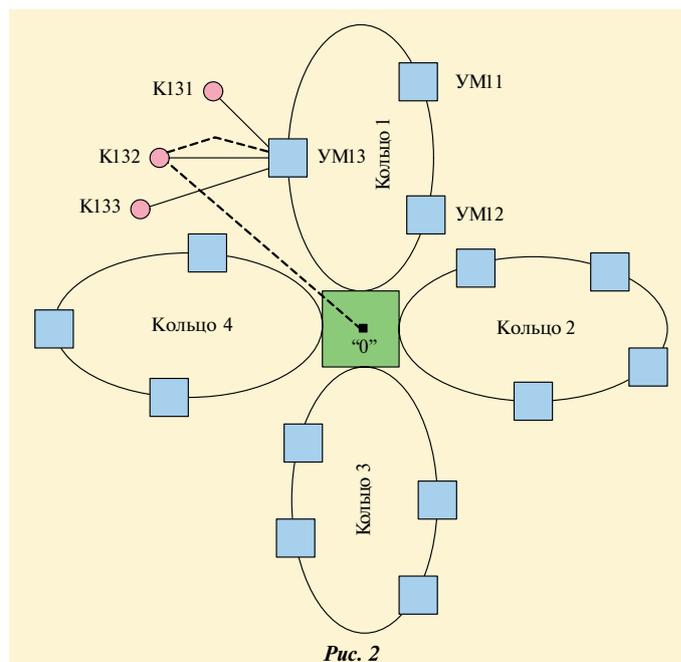


Рис. 2

На рис. 2 показаны два основных варианта повышения коэффициента готовности абонента, терминал которого включен в распределительную коробку (К) под номером 132 (первое кольцо, третий УМ). Пунктирной линией показаны два возможных пути создания резервного тракта: первый предусматривает организацию линии между К132 и УМ13, а второй — между К132 и кроссом (обозначен символом “0”). Эти линии могут быть реализованы путем прокладки кабельных трасс или применения систем типа BWA [8].

Выбор количества колец при модернизации эксплуатируемой СД может быть сделан за счет перебора всех возможных вариантов. Для вновь создаваемой СД оптимальное решение можно получить с помощью метода, приведенного в [9].

**Влияние тарифной политики.** На скорость развития СД существенное влияние оказывает тарифная политика оператора связи. В [3] приведен график, иллюстрирующий этот тезис. На рис. 3 для пяти стран с примерно равными доходами на душу населения (в настоящее время тарифы в большинстве стран Западной Европы заметно снизились) показаны доли домохозяйств, имеющих широкополосный доступ. Тренд исследуемого процесса показывает непрерывная кривая.

Для выбора вида непрерывной кривой и определения параметров использован метод наименьших квадратов [10]. В качестве аппроксимирующих функций  $\varphi(x)$ , отражающих

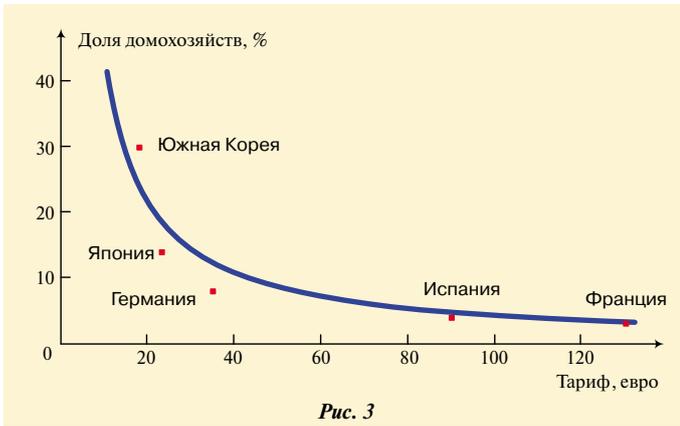


Рис. 3

снижение доли домохозяйств с широкополосным доступом, при росте тарифа  $x$  можно использовать гиперболу и экспоненту:

$$\varphi_1(x) = a_1 \exp(b_1 x) + c_1; \quad \varphi_2(x) = \frac{a_2}{x} \quad (1)$$

Коэффициенты, входящие в (1), имеют следующие значения:  $a_1 \approx 574,106$ ;  $b_1 \approx -0,173$ ;  $c_1 \approx 4,322$ ;  $a_2 \approx 499,713$ ;  $b_2 \approx 2,832$ . Меньшая ошибка при аппроксимации графика достигается при использовании функции  $\varphi_1(x)$ . Очевидно, что разумная тарифная политика заметно влияет, по крайней мере, на вид функции  $B(t)$  и характер ее производной.

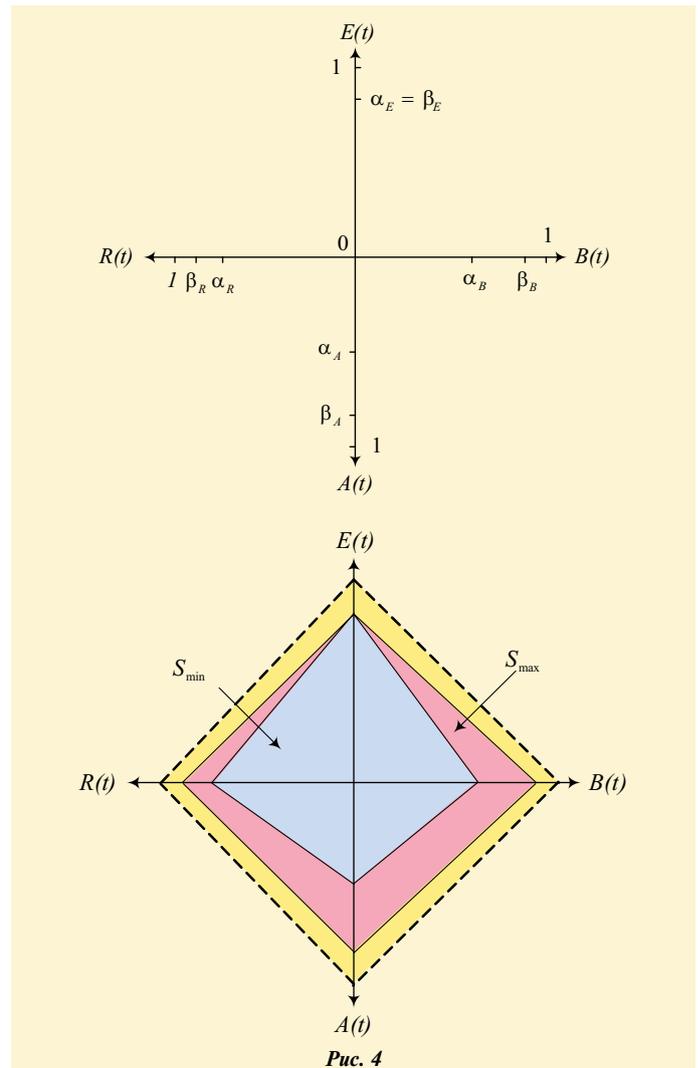
**Оценка альтернатив.** Для сравнения возможных вариантов модернизации СД могут быть использованы различные подходы. Например, в [11] для системы электросвязи в целом предложен способ оценки альтернатив с помощью инфокоммуникационного вектора (ИКВ). Этот вектор позволяет перейти от ряда параметров к одному, который включает характеристики, существенные для исследуемого объекта. Если в качестве такого объекта используется СД, то для нее также с помощью математической теории многомерных евклидовых пространств [11] можно определить ИКВ.

Другой способ может быть основан на методах оценки конкурентоспособности [12]. Его можно рассматривать как частный случай построения ИКВ. Преимущества этого способа заключаются в простоте и очевидном физическом смысле используемых переменных. Основой для определения переменных служат введенные выше функции  $B(t)$ ,  $A(t)$ ,  $R(t)$  и  $E(t)$ . Предполагается, что известны значения этих функций в точке  $t = T_{\max}$ . Нет оснований считать, что какая-либо из функций в точке  $t = T_{\max}$  определена с высокой достоверностью. Поэтому целесообразно оперировать размахом распределения, который для функции вида  $F(t)$  определяется интервалом между величинами  $\alpha_F$  и  $\beta_F$ :

$$\alpha_F \leq F(T_{\max}) \leq \beta_F \quad (2)$$

Средние значения исследуемых переменных  $\bar{B}$ ,  $\bar{A}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{E}$  всегда будут находиться в границах соответствующих интервалов. На основании опубликованных прогнозов можно определить размах распределения для четырех функций:  $B(t)$ ,  $A(t)$ ,  $R(t)$  и  $E(t)$ . В левой части рис. 4 на четырех осях нанесены величины вида  $\alpha_F$  и  $\beta_F$  (предполагается, что  $\alpha_E = \beta_E$ ). Эти точки позволяют построить многоугольник, который может служить оценкой соответствующего варианта модернизации сети доступа.

Все четыре функции удобно представить так, чтобы их максимальное значение не превышало единицу. Тогда теоретический максимум площади многоугольника, показанного



пунктирными линиями, ограничен двойкой. Следовательно, для площади любого многоугольника  $S_j$  (включая ее среднее значение  $\bar{S}$ ), построенного с учетом реальных значений  $\alpha_F$  и  $\beta_F$ , справедливо неравенство:  $S_j < 2$ .

Соединяя последовательно все точки вида  $\alpha_F$ , а также все точки вида  $\beta_F$ , можно получить два многоугольника, площади которых равны  $S_{\min}$  и  $S_{\max}$ , соответственно. Для величины  $S_j$  можно записать следующие условия:

$$S_{\min} \leq S_j \leq S_{\max}; \quad S_{\min} \leq \bar{S} \leq S_{\max} \quad (3)$$

Разница  $\Delta S = S_{\max} - S_{\min}$  может служить мерой неопределенности требований, предъявляемых к перспективной СД. Значение  $\Delta S$  будет минимальным при получении точных прогностических оценок. Его целесообразно вычислять с учетом “времени жизни” СД. Тогда точность прогностических оценок будет зависеть от корректности определения предельных значений для функций  $B(t)$ ,  $A(t)$ ,  $R(t)$  и  $E(t)$ .

Для случайной величины  $S_j$  логично ввести гипотезу о равномерном законе распределения на отрезке  $(S_{\min}, S_{\max})$ . Для среднего значения площади многоугольника  $\bar{S}$  справедливо выражение [10]:

$$\bar{S} = \frac{S_{\min} + S_{\max}}{2} \quad (4)$$

Если известны средние значения  $\bar{B}$ ,  $\bar{A}$ ,  $\bar{R}$ ,  $\bar{E}$ , то величину  $\bar{S}$  можно получить, вычисляя площади четырех треугольников:

$$\bar{S} = \frac{\bar{BA} + \bar{AR} + \bar{RE} + \bar{EB}}{2}. \quad (5)$$

Многоугольники могут строиться для всех возможных вариантов модернизации СД, образующих некое множество  $\{J\}$ . Для оценки возможных альтернатив модернизации СД необходимо выбрать критерий эффективности. В качестве обязательных условий для  $j$ -й альтернативы можно выделить ограничения вида:

$$\bar{B}_j \geq B_0, \bar{A}_j \leq A_0, \bar{R}_j \geq R_0, \bar{E}_j \leq E_0, \quad (6)$$

где  $B_0$  — минимальная скорость обмена данными;  $A_0$  — установленный уровень для коэффициента готовности;  $R_0$  — допустимое время устранения неисправностей;  $E_0$  — нормированный уровень коэффициента ошибок по битам.

Эти условия, выраженные непосредственно или через площадь  $S_0$ , можно считать ограничениями для рассматриваемой задачи. Критерием, позволяющим отдать предпочтение той или иной альтернативе, может служить сбалансированность развития СД. Естественная мера сбалансированности — минимум дисперсии анализируемых величин. Это означает, что предпочтительным считается вариант модернизации СД, для которого при соблюдении всех ограничений вида (6) обеспечивается условие:

$$\Delta S_j \rightarrow \min. \quad (7)$$

Таким образом, на основании критерия (7) не следует считать лучшими путями развития СД решения, приводящие к:

- очень высокой скорости обмена данными между терминалами абонентов, но низкой надежности связи;
- весьма высокой надежности связи, но неприемлемому коэффициенту ошибок по битам;
- самому низкому коэффициенту ошибок по битам и оперативному устранению неисправностей, но невысокой скорости обмена данными.

**Заключение.** Предложения, содержащиеся в статье, направлены на формализацию требований, характерных для

перспективных сетей доступа. Для задач, связанных с проектированием сети доступа, необходимо учитывать показатель, названный «временем жизни». Предложенный критерий сравнения возможных решений по развитию сетей доступа отражает основные требования сети связи следующего поколения и общие тенденции развития системы электросвязи, не зависящие от выбранных технологий передачи, коммутации и обработки информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Saeidi M., Pirhadi M., Ayazi F.** Intelligent Services in Migration from PSTN toward NGN. — The 8<sup>th</sup> International Conference on Advanced Communication Technology / Proceedings. — Phoenix Park, Korea. — 2006. — Vol. I.
2. **Wieland K.** Goodbye PSTN, hello 21CN // Telecommunications International. — November, 2006.
3. **Соколов Н.А.** Телекоммуникационные сети. — М.: Альварес Паблшинг, 2004.
4. **Crawford M., Verheye D.** Residential Service Aggregation in the Second Mile / Alcatel Telecommunications Review. — 2nd Quarter 2003.
5. **Горальски В.** Технологии ADSL и DSL. — М.: Издательство "Лори", 2000.
6. **Григорьев В.А., Лагутенко О.И., Распаев Ю.А.** Сети и системы радиодоступа. — М.: Эко-Трендз, 2005.
7. **Варакин Л.Е.** Цифровой разрыв в глобальном информационном обществе. — М.: МАС, 2004.
8. **Sokolov N.** Broadband Wireless Access and Communications Reliability Provision / Proceedings of the Moscow International Conference "Broadband Russia & CIS Summit". — Moscow, 2004.
9. **Krendzel A.** Access Network Planning: Remote Units Optimal Location / 4-th IEEE Malaysia International Conference on Communications. — Malaysia, 1999.
10. **Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. — М.: Наука, 1986.
11. **Развитие** инфокоммуникаций России в период 1991 — 2006 годы. Итоги 15-летней эпохи. Составители: **Л.Е. Варакин, Д.А. Пожарский, А.Г. Шилев.** — М.: МАС, 2006.
12. **Лифиц И.М.** Теория и практика оценки конкурентоспособности товаров и услуг. — М.: Юрайт-М, 2005.

Получено 14.03.08

## ИНФОРМАЦИЯ

### НОВОСТИ КОМПАНИЙ

**ОАО «Мобильные ТелеСистемы» (NYSE: MBT) и компания Ericsson впервые в России продемонстрировали услуги мобильного телевидения в действующей сети 3G МТС в С.-Петербурге.**

С помощью услуги «видеостриминг» в сети 3G была организована одновременная прямая трансляция четырех видеоканалов, освещавших работу XII Петербургского международного экономического форума. Участники форума могли наблюдать прямые трансляции мероприятий из четырех конференц-залов форума на экране своего мобильного телефона.

Техническое решение для организации видеостриминга на сетях 3G МТС в С.-Петербурге, развернутое компанией Ericsson, включало серверы для конвертирования телевизионных сигналов в формат 3gp, а также стриминг-серверы, позволяющие транслировать одновременно четыре видеопотока с высоким

разрешением. Интернет-ссылки на потоковое видео были размещены на WAP-портале МТС (wap.mtsspb.ru).

Ранее, в мае 2008 г., МТС при поддержке Ericsson протестировала ряд инновационных услуг на основе мобильного телевидения с широкими перспективами практического использования в различных сферах жизнедеятельности — для организации интерактивного общения, видеочатов и прямых трансляций различных мероприятий на экран мобильного телефона.

«Сотрудничество МТС и Ericsson позволило нам представить на одном из крупнейших мировых форумов уникальный сервис «Форум на ладони», запуск которого во многом стал возможным благодаря действию инновационной сети 3G от МТС в С.-Петербурге и технологическим возможностям нашего партнера. Демонстрируя качественно новый уровень пользования мобильными сервисами, проект

«Форум на ладони» позволил участникам форума собственными руками опробовать удобство применения инновационных технологий в реальной жизни», — отметил президент ОАО «МТС» М. Шамолин.

«Современные сервисы на базе сетей 3G дают абонентам принципиально новые возможности и опыт в пользовании мобильной связью: видео-услуги, интерактивность и персонализация облегчают и изменяют стиль жизни людей. Мы рады и гордимся тем, что сегодня, совместно с крупнейшим оператором МТС, имеем возможность обеспечить такими передовыми сервисами российских пользователей» — подчеркнул вице-президент Ericsson по Восточной Европе и Центральной Азии Б. Эйсер.

28 мая МТС объявила о технической готовности сети 3G в четырех городах России и о запуске сети в коммерческую эксплуатацию в С.-Петербурге.