

*Николай Александрович Масесов* (канд. техн. наук, с.н.с., начальник научно-исследовательского отдела)

*Игорь Вячеславович Панченко* (канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник)

*Леонид Александрович Бондаренко* (старший научный сотрудник)

*Вячеслав Вячеславович Малых* (старший научный сотрудник)

*Военный институт телекоммуникаций и информатизации Государственного университета телекоммуникаций, Киев*

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ В СЕТЯХ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ IP-ПРОТОКОЛА

*В статье рассматриваются способы оценки качества передачи в сетях связи специальных пользователей с использованием IP-протокола. Определены способы с использованием усредненного показателя о качестве – MOS и метод, который определяется использованием E-модели и рейтинга. Исследованы преимущества и недостатки применения каждого из способов определения качества передачи. Приведены основные параметры и показатели, которые могут быть взяты за основу при разработке и внедрении норм для оценки качества передачи речи в сетях связи специальных пользователей.*

**Ключевые слова:** IP-сеть, качество передачи речи, сеть связи специального пользователя.

### Постановка задачи

Повышение требований к управлению войсками (силами) вызывает необходимость расширения спектра предоставляемых телекоммуникационных сервисов. Повышение качества связи при использовании IP-сетей – это решение главной проблемы организации информационной безопасности сетей специальных пользователей, так как обеспечение качества связи позволяет обеспечить доступность и целостность мультимедийного трафика, передаваемого в IP-сетях. Доступность и целостность столь же важные постулаты безопасности, наряду с конфиденциальностью, которой необходимо уделять особое внимание. Решение проблемы качества связи зависит в первую очередь от понимания того как оценивать качество и какие параметры сети передачи данных оказывают наибольшее влияние на качество связи.

При оценке качества услуг в сетях IP необходимо учитывать, что требования к сетевым характеристикам со стороны приложений данных и приложений, связанных с передачей голоса, существенно различаются.

Методы оценки качества системы передачи звукового сигнала в основном определяются назначением системы. При передаче по каналам связи речь рассматривается как случайный процесс, характеристики которого определяют параметры передаваемого сигнала (динамический диапазон, полосу, отношение сигнал/шум). Все эти параметры поддаются измерению и могут быть точно определены. Однако, учитывая, что с другой стороны речевой сигнал воспринимается человеком, то следует отметить, что с точки зрения человека речевой сигнал оценивается субъективно, подчиняясь законам психофизиологии слуха.

Таким образом, качество речевого сигнала объективно оценивается рядом показателей, которые никогда не смогут полноценно заменить систему восприятия звука человеком. Не учитывая

нюансы непосредственно передачи речевого сигнала, можно сказать, что объективная оценка качества речи должна коррелировать с субъективной оценкой.

В то же время, для сетей связи специального назначения до сих пор не разработаны и не введены в действие нормативные документы, регламентирующие порядок и нормы оценки качества речи в IP-сетях. Для решения именно этой задачи может быть использован подход, предложенный авторами в статье.

### Изложение основного материала

При развертывании приложений VoIP качество обслуживания определяется набором сетевых параметров, в число которых входят пропускная способность сети, надежность сети/ сетевого оборудования, задержки, вариации задержки (джиттер) и потери пакетов.

### Способы оценки качества связи

Оценка качества связи может осуществляться различными методами:

метод, использующий усредненный показатель мнений о качестве MOS (Mean Opinion Score) и представленный в [1];

метод, использующий рейтинг (Quality Rating), определяемый с применением E-модели [2, 3].

Официально рекомендуемым способом оценки качества IP и других типов речевой связи является MOS. Оценка MOS в соответствии с [1] осуществляется по пятибалльной шкале.

Первоначально МСЭ предложил подход (Рекомендации МСЭ Р.800), в основе которого лежали субъективные оценки качества передачи. Субъективные оценки, к сожалению, не могут быть точно соотнесены с сетевыми характеристиками, которые используются при проектировании и эксплуатации сетей. Не могут быть они точно сопоставлены и с процессами, реализуемыми в терминальном оборудовании (т. е. вне сети). Речь идет об алгоритмах сжатия, схемах кодирования, механизмах защиты информации, восстановления данных и т. д. Тем не менее,

субъективные оценки использовались в течение многих лет как единственный подход к оценке качества в телефонных сетях и в определенной степени сохраняют свое значение сегодня.

В 1999 – 2013 г. МСЭ стандартизировал подход, основанный на объективных оценках качества обслуживания, который позволяет описать показатели качества при передаче речи в пакетной форме (Рекомендации МСЭ-Т G.107, G.109). В статье рассматриваются оба подхода, но основное внимание уделяется анализу Рекомендации G.107.

### Классы обслуживания трафика

В общем случае могут быть определены четыре класса сквозного (из конца в конец) качества обслуживания (QoS). Принимаются во внимание как сетевые, так и терминальные искажения. Уровни обслуживания делятся на классы:

**высший.** Это тип услуги телефонии с потенциалом, достаточным для того, чтобы предоставить пользователям услуги качество, эквивалентное или превышающее предоставляемое телефонной сетью общего пользования (ТфОП). Внедрение подразумевает использование широкополосных (обрабатывающих аналоговые сигналы с полосой более 3,1 кГц) кодеков, а также наличие разработанных в соответствии с требованиями QoS сетей IP в окружении локальных вычислительных сетей. Данный класс обслуживания следует считать желательным для предоставления услуг телефонии.

**высокий.** Это тип услуги телефонии с потенциалом, достаточным для того, чтобы предоставить пользователям услуги качество, подобное предоставляемому ТфОП (или самыми совершенными системами беспроводной подвижной телефонии в хороших условиях передачи радиосигнала, например с кодеками EFR либо соответствующими Рекомендации МСЭ-Т G.726). Внедрение подразумевает наличие разработанных в соответствии с требованиями QoS сетей IP с оптимизацией использования полосы пропускания канала. Данный класс обслуживания следует считать минимально допустимым для предоставления услуг телефонии подавляющему большинству пользователей (не менее 85 % общего количества обслуживаемых пакетной сетью соединений).

**средний.** Это тип услуги телефонии с потенциалом, достаточным для того, чтобы предоставить пользователям услуги качество, подобное общепринятому для услуг беспроводной подвижной телефонии с использованием кодеков FR. Внедрение подразумевает наличие разработанных в соответствии с требованиями QoS сетей IP, в которых потери или задержки из конца в конец не могут контролироваться достаточно жестко. Данный класс обслуживания следует считать допустимым для предоставления услуг телефонии ограниченному числу пользователей по индивидуальным договорам или соглашениям (не более 10 % общего количества обслуживаемых пакетной сетью соединений).

**доступный.** Этот тип услуги обеспечивает приемлемое для использования качество, но без

гарантии характеристик соединения. Могут наличествовать периоды значительного ухудшения качества речевой связи и увеличения задержек из конца в конец, которые отрицательно влияют на диалоговую интерактивность в целом. Внедрение подразумевается на базе сетей IP, разработанных без учета требований QoS, например в командных радиосетях. Данный класс обслуживания следует считать допустимым для предоставления услуг телефонии в исключительных случаях при обязательном предварительном согласовании с пользователем и в экстренных ситуациях (не более 5 % общего количества обслуживаемых пакетной сетью соединений).

В целях обеспечения требуемого качества передачи речевой информации каждый из вышеупомянутых классов определяется тремя количественными характеристиками:

общей оценки качества передачи (R);  
качеством речи, воспринимаемым слушателем (качеством односторонней неинтерактивной передачи речи из конца в конец);

задержкой из конца в конец (односторонней).

Системы, которые считаются удовлетворяющими определенному классу QoS, должны соответствовать всем трем определенным для конкретного класса характеристикам на 95 % соединений.

Определение не относящихся к речевому качеству количественных характеристик, например, времени установления соединения, следует считать предметом дальнейших исследований.

### Субъективная оценка качества обслуживания при передаче речи

Основным критерием качества аудио- и видеoinформации является восприятие качества услуги пользователем. Определение качества услуг может базироваться как на субъективных, так и на объективных оценках. В соответствии методикой MOS, качество речи, получаемое при прохождении сигнала от говорящего (источник), через систему связи к слушающему (приемник), оценивается как арифметическое среднее от всех оценок, выставляемых экспертами после прослушивания тестируемого тракта передачи. Такие же методы оценки качества речи установлены в ГОСТ 16600-72, ГОСТ В.20.775, ГОСТ Р 51061-97.

Экспертные оценки определяются в соответствии со следующей пятибалльной шкалой: 5 – отлично, 4 – хорошо, 3 – приемлемо, 2 – плохо, 1 – неприемлемо. Оценки 3,5 балла и выше соответствуют стандартному и высокому телефонному качеству, 3,0 – 3,5 – приемлемому качеству, 2,5 – 3,0 – синтезированному звуку. Для передачи речи с хорошим качеством целесообразно ориентироваться на значения MOS не ниже 3,5 баллов.

Хотя методика MOS, основанная на субъективных оценках, является достаточно надежным инструментом в оценке качества, однако в ней отсутствует возможность количественно учесть факторы, влияющие на качество речи. В частности, не учитываются:

сквозная (end-to-end) задержка между говорящим по телефону и слушающим; влияние вариации задержки (джиттера); влияние потерь пакетов.

Для преодоления указанных недостатков в 2012 г. МСЭ принял Рекомендацию G.107, в которой был описан подход к объективной оценке качества услуг в телекоммуникациях. В его основу положена так называемая E-модель, которая открыла новое направление в оценке качества услуг, связанное с измерением характеристик

терминалов и сетей. После создания E-модели было проведено большое число испытаний, в которых менялся уровень воздействия искажающих сетевых факторов. Данные этих тестов были использованы в E-модели для вычисления объективных оценок. Результатом вычислений в соответствии с E-моделью является число, называемое R-фактором (“коэффициентом рейтинга”). Значения R-фактора однозначно сопоставляются с оценками MOS (см. таблицу. 1 и рисунок. 1).

Таблица 1

Оценка QoS на основе R- фактора и оценок MOS

Значение R-фактора	Категория качества и оценка пользователя	Значение оценки MOS
$90 < R < 100$	Самая высокая (отлично)	4,34-4,5
$80 < R < 90$	Высокая (хорошо)	4,03-4,34
$70 < R < 80$	Средняя (приемлемо: часть пользователей оценивают качество как неудовлетворительное)	3,60-4,03
$60 < R < 70$	Низкая (плохо: большинство пользователей оценивают качество как неудовлетворительное)	3,10-3,60
$50 < R < 60$	Неприемлемая (не рекомендуется)	2,58-3,10

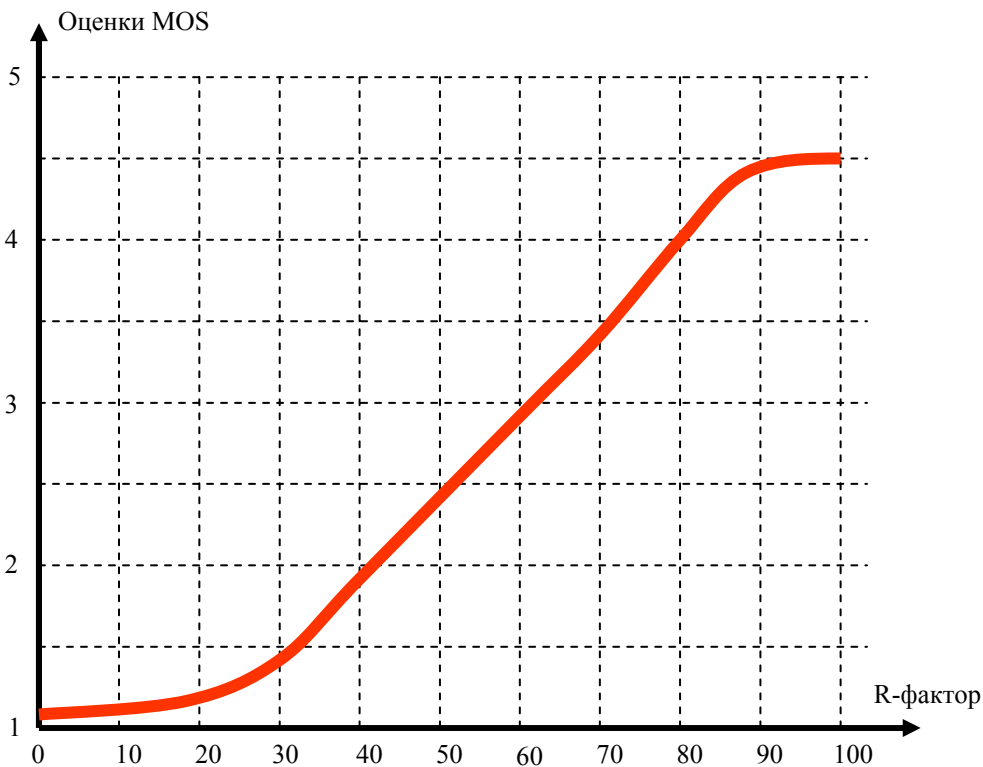


Рис.1. Зависимость между R-фактором и оценками MOS

В соответствии с E-моделью R-фактор определяется в диапазоне значений от 0 до 100, где 100 соответствует самому высокому уровню качества. При расчете R-фактора учитываются 20 параметров, в числе которых:

- однонаправленная задержка;
- коэффициент потери пакетов;
- потери данных из-за переполнения буфера джиттера;

- искажения, вносимые при преобразовании аналогового сигнала в цифровой и последующем сжатии (обработка сигнала в кодеках);
- влияние эха и др.

Таким образом, E-модель и R-фактор могут

быть использованы для объективной оценки качества передачи речи в технологии VoIP. Как только R-фактор получен, могут быть вычислены соответствующие оценки MOS. Вычисление R-фактора начинается для случая, когда искажения сигнала в канале не учитываются, а принимаются во внимание искажения, которые имеют место при преобразовании реальной речи в электрический сигнал (и обратно). Теоретическое значение R-фактора уменьшается от 100 до 93,2, что соответствует оценке MOS, равной 4,4. Таким образом, при использовании E-модели оценка 4,4 в системе MOS является максимально возможной оценкой качества речи в сети без искажений.

Величина R-фактора змінюється від 0 до 93,2, що відповідає зміні оцінок MOS від 1 до 4,4.

Значення R-фактора визначається за формулою:

$$R = R_0 - P_s - P_d - P_e + A \quad (1)$$

де:  $R_0 = 93,2$  — вихідне значення R-фактора;

$P_s$  — спотворення, вносимі кодеками і шумами в каналі;

$P_d$  — спотворення за рахунок сумарної сквозної затримки (“з кінця в кінець”) в мережі;

$P_e$  — спотворення, вносимі обладнанням, включаючи втрати пакетів;

$A$  — так званий фактор переваги.

В більшості випадків розрахунок R-фактора параметр  $A$  приймається рівним нулю.

Для кореспондентів радіомережі спеціальних користувачів можуть надаватися послуги телефонної зв'язі. Со середнім доступним рівнем якості взаємодії отримання додаткових послуг.

### Аналіз факторів, впливаючих на якість мови в пакетних мережах

Вплив кодексу на якість пакетованої мови.

При розрахунок R-фактора одна з складових —  $P_s$ , зменшує значення R-фактора, визначається спотвореннями, виникаючими в кодексі при пакетуванні мовного сигналу. Якість передачі мови в мережі з комутацією пакетів може значально покращити шляхом створення ефективних кодексу, забезпечуючих хорошу розбірливість мовного сигналу на прийомному кінці.

В склад цих методів входять:

методи ефективного кодування мови (рекомендації МСЭ-Т серії G.7xx);

механізми подавлення пауз (механізм кодування мови при преривистій передачі, відомий як Voice Activity Detection, VAD);

механізми ехоподавлення (рекомендація МСЭ G.164) і ехокомпенсації (рекомендації МСЭ G.165 і G.168);

механізми маскування помилок (packet loss concealment), забезпечуючі компенсацію проміжків в мовному потоці, викликаних втратами окремих пакетів.

### Характеристики мовних кодексу

Сучасний рівень розвитку радіотехнологій дозволяє реалізувати великий набір ефективних кодексу з різними характеристиками [2, 3]. В табл. 2 представлені характеристики кодексу, відповідних стандартам МСЭ-Т. Кодекси, відомі як G.711 (версії G.711a і G.711u, швидкість вихідного сигналу 64 кбіт/с), перетворюють аналоговий сигнал в цифровий з дуже високим рівнем якості без застосування операції стиснення. Однак, при цьому вимагається значальна пропускна здатність по порівнянню з кодексами, в яких здійснюється стиснення інформації. Після створення цифрових сигнальних процесорів (DSP) з'явилась можливість реалізації дуже ефективних кодексу з значально меншими вимогами до пропускної здатності тракту передачі.

Низькошвидкісні кодекси вимагають суттєво менших значень пропускних здатностей,

однак оказують значально більше вплив на якість мовного сигналу по порівнянню з високошвидкісними кодексами.

Менша пропускна здатність означає, що можна організувати більше число телефонних зв'язі по одному і тому ж тракту, но при цьому зменшується розбірливість мови, зростають затримки і якість мови стає більш чутливим до втрати пакетів.

### Затримки і джиттер в мережах IP

Затримка доставки пакета визначається часом переносу пакета від джерела до отримувача. Час затримки змінюється в залежності від трафіку в мережі і доступних мережних ресурсів, в частині, пропускної здатності, во время доставки. Мова представляє собою трафік, чутливий до затримки, тоді як більшість додатків даних відносно стійко до затримки. Якщо затримка доставки пакета перевищує визначене значення, пакет відкидається. В результаті, при великому числі відкинутих пакетів якість мови погіршується, що і відображено в формулі (1) для R-фактора, де вплив затримки враховано через складову  $P_e$ .

В результаті проведених досліджень якості мовного сигналу було встановлено, що людина починає відчувати затримки мовного сигналу, перевищує 150 мс, і відчуває помітний дискомфорт, якщо затримка перевищує 250 мс. В Рекомендаціях МСЭ G.114 встановлено поріг затримки при передачі мови не більше 150 мс. На практиці встановлено, що при затримці в 300 мс розмова розпадається на фрагменти, які неможливо зв'язати в єдину мову.

Розглянемо, які фактори визначають сумарну величину затримки доставки пакета.

Сквозна затримка доставки пакета  $D_{\Sigma}$  (“з кінця в кінець”) визначається як сума чотирьох складових:

$$D_{\Sigma} = D_p + D_{nk} + D_{nn} + D_{bd} \quad (2)$$

де:  $D_p$  — затримка поширення: час проходження електричного сигналу в кабелі або в безпроводній середі. Це час залежить від фізичного відстані між точкою входу і точкою виходу з мережі.

$D_{nk}$  — затримка пакетування: час, який необхідно витратити в кодексі для перетворення аналогового сигналу в цифровий і формування пакета. Як видно з таблиці 2, чим нижче швидкість сигналу на виході кодексу, тим вище затримка пакетування, оскільки кодек витратить більше часу на процеси компресії і декомпресії сигналу;

$D_{nn}$  — затримка переносу пакета: час проходження пакета через всі пристрої мережі, розташовані вздовж шляху передачі пакета, включаючи маршрутизатори, шлюзи, мережні екрани, оброблювачі трафіку, сегменти мережі з відносно малою пропускною здатністю в умовах перевантаження і т. д. Для деяких пристроїв, наприклад, синхронних мультимедіа-пристроїв, ця величина постійна, для інших, таких, як маршрутизатори, затримка переносу змінюється з зміною навантаження в мережі;

$D_{bd}$  – задержка на приемной стороне в буфере джиттера: буфер джиттера используется для уменьшения вариаций между моментами поступления пакетов на вход приемного устройства. Буфер может накапливать от одной до нескольких датаграмм. В соответствии с данными табл. 2 типичный буфер джиттера накапливает две датаграммы и задержка  $D_{bd}$  составляет от 20 до 30 мс в зависимости от типа кодека.

Очевидно, что задержка распространения, задержки в кодеке и буфере джиттера являются постоянными величинами для выбранного пути передачи пакета, тогда как задержка переноса – случайная величина, зависящая от условий в сети в конкретный момент времени. На рисунке 2 показано, как задержки влияют на R-фактор и показатели MOS.

Таблица 2

Типы речевых кодеков и их характеристики

кодек	Скорость передачи, кБит/сек	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка в буфере джиттера	Теоретически максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	2 дейтагр. по 40 мс	4,4
G.711a	64	20	1	174,4	2 дейтагр. по 40 мс	4,4
G.726-32	32	20	1	110,4	2 дейтагр. по 40 мс	4,22
G.729	8	20	25	62,4	2 дейтагр. по 40 мс	4,07
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2 дейтагр. по 60 мс	3,87
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 дейтагр. по 60 мс	3,69

Термин “джиттер” (вариация задержки) используется для описания случайных изменений между моментами поступления последовательных пакетов речи в приемник. Нерегулярность прибытия речевых пакетов в пункт назначения приводит к искажению звукового сигнала и при больших значениях джиттера, превышающих несколько десятков мс, речь становится неразборчивой.

Потери пакетов определяются как процент пакетов, не доставленных к месту назначения.

В сети имеется ряд причин потери пакетов, среди которых отметим следующие:

при перегрузке сети очереди в коммутаторах и маршрутизаторах быстро растут. Если перегрузка

сохраняется в течение длительного времени, происходит переполнение буферов, и пакеты теряются;

при наличии ошибок в пакетах данных пакеты могут быть переданы повторно в соответствии с запросом приемной стороны, тогда как повторная передача пакетов речи увеличивает задержку пакетов. Поэтому при пакетной передаче речи пакеты с ошибками сбрасываются.

Потери речевых пакетов не должны превышать 1 % в среднем на достаточно большом временном интервале. При больших значениях коэффициента потерь в восстановленной на приемной стороне речи возникают разрывы.

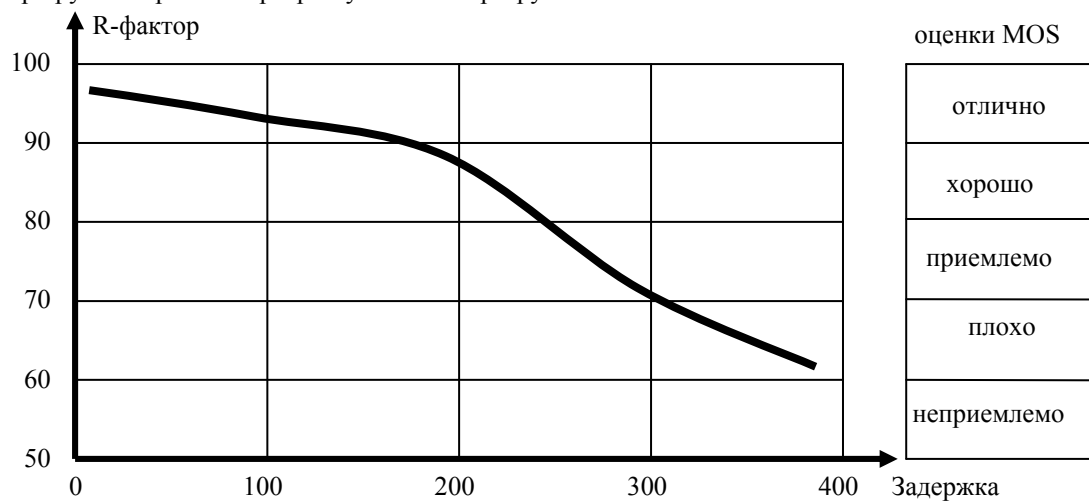


Рис. 2. Влияние суммарной задержки на оценки MOS и величину R-фактора

**Выводы**

В Рекомендации МСЭ Р.800, ГОСТ 16600-72 и на субъективных оценках, выносимых группой экспертов. Этот метод, используемый в

телефонных сетях, к сожалению, не может учитывать влияние вероятностно-временных характеристик сетей на качество передачи речи в пакетных сетях.

Метод вычисления R-фактора, основанный на E-модели, может рассматриваться как общая модель для объективной оценки качества передачи речи. Главной особенностью E-модели является

учет большого набора факторов, отражающих воздействие оконечных устройств и транспортной среды на качество обслуживания. Предложенная вычислительная модель, основанная на корреляции субъективного и объективного методов оценок качества речи может быть полезна как при проектировании, так и эксплуатации пакетных сетей специальных потребителей.

### **Литература**

1. ITU-T Recommendation P.800 (08/1996). Methods for subjective determination of transmission quality. 2. ITU-T Recommendation ITU-T G.107 (06/2012) The E-model: a computational model for use in transmission planning. 3. ITU-T Recommendation G.109 (09/99). Definition of categories of speech transmission quality.

4. Сергеев В.С., Барин В.В. Сжатие данных, речи, звука и изображений в телекоммуникационных системах, 2009, ИП "РадиоСофт". 5. Рихтер С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной связи, 2009, Горячая линия — Телеком.

## **ОЦІНКА ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧІ МОВИ В МЕРЕЖАХ ЗВ'ЯЗКУ СПЕЦІАЛЬНИХ СПОЖИВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ІР-ПРОТОКОЛУ**

*Микола Олександрович Масесов (канд. техн. наук, с.н.с., начальник науково-дослідного відділу)*

*Ігор В'ячеславович Панченко (канд. техн. наук, провідний науковий співробітник)*

*Леонід Олександрович Бондаренко (старший науковий співробітник)*

*В'ячеслав В'ячеславович Малих (старший науковий співробітник)*

*Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації Державного університету телекомунікацій, Київ*

*У статті розглядаються способи оцінки якості передачі мови в мережах зв'язку спеціальних користувачів з використанням ІР-протоколу. Визначені способи з використанням усередненого показника про якість – MOS та метод, що визначається використанням E-моделі та рейтингу. Досліджені переваги та недоліки застосування кожного із способів визначення якості передачі мови. Наведено основні параметри та показники, що можуть бути взяті за основу при розробці та впровадженні норм для оцінки якості передачі мови у мережах зв'язку спеціальних користувачів.*

*Ключові слова: ІР-мережа, якість передачі мови, мережа зв'язку спеціального користувача.*

## **QUALITY ESTIMATION OF SPEECH PASSING IN COMMUNICATION NETWORKS OF SPECIAL USERS USING IP-PROTOCOL**

*Mykola Masesov (Candidate of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Chief of a Research Section)*

*Igor Panchenko (Candidate of Technical Sciences, Leading Research Fellow of a Research Section)*

*Leonid Bondarenko (Senior Research Fellow of a Research Section)*

*Vyacheslav Malyh (Senior Research Fellow of a Research Section)*

*Military Institute of Telecommunications and Informatization of State University of Telecommunications, Kyiv*

*In the article the methods of estimation of quality of transmission of are in communication of the special users networks with the use of Internet Protocol. Methods are n with the use of intermediate index about quality – MOS and method which is determined the of E-model and rating. Even services are for to the classes taking into account network and terminal curvatures, and also delay of transmission of, from the end to. Advantages and of application are investigational each of methods of determination of quality of transmission of. Analytical expressions are presented for the estimation of R-factor and determination of delay in delivery of packages. The comparative analysis of types of voice codes is conducted, they are resulted basic descriptions. Basic parameters and indexes which can be taken for at development and introduction of s for the estimation of quality of transmission of in communication of the special users networks are resulted.*

*Key words: IP-network, quality of transmission of voice, communication of the special user network.*