

Технические науки

УДК 621.395

**Корчагин Кирилл Павлович**

Студент

Национальный Технический Университет Украины  
«Киевский Политехнический Институт»

**Полторак Вадим Петрович**

канд. техн. наук, доцент кафедры Автоматики и Управления в  
Технических Системах

**Korchagin K.P.**

student

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"

**Poltorak V.P.**

ass. prof., department Automatics and Control in Technical Systems

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КАЧЕСТВА НА  
СУБЪЕКТИВНУЮ ОЦЕНКУ КАЧЕСТВА РЕЧИ В СЕТИ  
INFLUENCE OF TECHNICAL CHARACTERISTICS ON THE  
SUBJECTIVE QUALITY ASSESSMENT IN PACKET NETWORKS**

**Аннотация:** В данной статье проанализированы основные методы оценки качества речевого трафика в сети, критерии оценки качества сетевого трафика согласно QoS и Е-модели. Произведено сравнение субъективной и объективной методик оценки качества речевого трафика. Проанализировано влияние технических характеристик сети на субъективную оценку качества речевого трафика в сети. Результаты исследований были смоделированы и показаны на примере моделей мультисервисной сети. На основе проведенного исследования авторами было показано, что параметры QoS оказывают значительное влияние на качество речевого трафика в сети.

**Ключевые слова:** QoS, MOS, Е-модель, R-factor, Качество, сеть.

**Summary:** This article analyzes the main methods for evaluating the quality of voice traffic in the network, the quality of the evaluation criteria of network traffic according to QoS and E-model. Comparison of subjective and objective methods of assessing the quality of the voice traffic. The research results were modeled and are illustrated in the example of the multi-network models. The influence of the technical characteristics of the network on the subjective assessment of the quality of voice traffic in the network. Based on studies conducted by the authors have shown that the QoS parameters have a significant influence on the quality of the voice traffic in the network

**Key words:** QoS, MOS, E-model, R-factor, Quality, network.

### **Состояние изучаемой темы и постановка задачи**

При оценке качества услуг предоставляемых IP сетями необходимо учитывать, что требования к характеристикам сети со стороны приложений данных и приложений, связанных с передачей голоса, различаются.

Методы оценки качества в системах передачи речи в основном определяются назначением системы. При передаче речи по каналам связи она рассматривается как случайный процесс, характеристики которого определяют параметры передаваемого сигнала. Однако необходимо учитывать, что речевой сигнал воспринимается человеком, и, с точки зрения человека, речевой сигнал оценивается субъективно. Как известно, качество обслуживания определяется набором технических параметров, в число которых входят пропускная способность сети, задержки, вариации задержки и потери пакетов [1; 2; 3].

Таким образом, качество речи объективно оценивается рядом показателей, которые никогда не смогут полноценно заменить систему восприятия звука человеком [4].

Наиболее распространенный и точный критерий оценки качества речи в VoIP сетях – это восприятие услуги пользователем. Наиболее широко используемой методикой является методика субъективной оценки качества которая известна как MOS (Mean Opinion Score) [5; 4, с. 1].

К сожалению, субъективные оценки, не могут быть точно сопоставлены с техническими характеристиками, которые используются при проектировании и эксплуатации сетей [6, с. 2]. Также их невозможно точно сопоставить с процессами, реализуемыми в терминальном оборудовании. Тем не менее, субъективные оценки использовались в течение многих лет как единственный подход к оценке качества речи в VoIP сетях [4, с. 2]..

В данной статье рассматриваются оба подхода к оценке качества речи в IP сети, а также, сделана попытка оценить их корреляцию между собой.

### **Критерии качества связи и передачи речи в VoIP сетях**

Основными критериями качества передачи речи в VoIP сетях являются качество речи и качество соединения.

Качество речи оценивается по следующим параметрам:

- Диалог – возможность пользователя связаться и поддерживать беседу с другим пользователем в реальном времени.
- Разборчивость речи
- Эхо – возможность пользователя слышать самого себя
- Громкость речи

Качество соединения оценивается следующими параметрами:

- Установка связи – скорость успешного соединения пользователей.

- Разъединение – скорость окончания сессии звонка.

Данные критерии находят свое отображение в методике субъективной оценке качества или MOS [2].

В соответствии с данной методикой качество предоставляемого сервиса рассчитывается как среднее арифметическое от всех оценок, выставляемых экспертами после прослушивания тестового звонка. Экспертные оценки составляются в соответствии со следующей шкалой: 5 — отлично, 4 — хорошо, 3 — приемлемо, 2 — плохо, 1 — неприемлемо. Оценка 3.5 и выше характеризирует хорошее качество речи. [5]

Хотя методика MOS, основанная на субъективных оценках, является достаточно надежным инструментом в телефонных сетях, 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
- влияние потерь пакетов

## **Объективная оценка качества речи в сети**

Помимо субъективной оценки качества, также существуют объективные методики оценки качества сети, которые ориентируются на технические характеристики. Одной из таких методик является Е-модель , описанная в рекомендации [ITU-T Rec.G.107](#) [8].

Эта модель основана на математическом алгоритме, с помощью которого отдельные параметры передачи преобразуются в различные отдельные "факторы ухудшения состояния", которые считаются аддитивными на психологическом уровне. Алгоритм Е-модели также учитывает комбинированные эффекты нарушений в связи, которые

происходят одновременно, а также некоторые эффекты маскирования. Е-модель основана на моделировании результатов большого количества субъективных тестов, проведенных в прошлом, в широком диапазоне параметров передачи. Основным результатом расчетов Е-модели является скалярная величина оценки качества, известная как "Transmission Rating Factor, R-factor, или просто R". Представляется Е-модель в следующем виде:

$$R = R_0 - L_s - L_e - L_d + A \quad (1)$$

где  $R_0$  – максимальное значение r-factor которого возможно достичь при использовании выбранного кодека.

$L_s$  - искажения, вносимые кодеками и шумами в канале;

$L_e$  - искажения, вносимые оборудованием, включая и потери пакетов;

$L_d$  - искажения за счет суммарной сквозной задержки ("из конца в конец") в сети;

$A$  - фактор преимущества который предназначается для корректирования значения r-factor`а.[2; 3, с. 4]

Согласно рекомендации [ITU-T Rec. G.107](#), значения r-factor`а и MOS можно свести в таблицу:

Таблица 1.

**Категории качества передачи речи**

| Значение R-фактора | Категория качества и оценка пользователя | Значение оценки MOS |
|--------------------|--|---------------------|
| 90<R<100           | Наилучшая                                | 4,34-4,5            |
| 80<R <90           | Высокая                                  | 4,03-4,34           |
| 70<R<80            | Средняя                                  | 3,60-4,03           |
| 60<R<70            | Низкая                                   | 3,10-3,60           |
| 50<R<60            | Неприемлемая                             | 2,58-3,10           |

В соответствии с Е-моделью R-фактор определяется в диапазоне значений от 0 до 100, где 100 соответствует самому высокому уровню

качества. Е-модель предоставляет критерии качества сети и опирается на технические составляющие, которые включают в себя и параметры задержки и параметры голосовых кодеков.

Обратившись к технической документации по наиболее популярным кодекам, используемым при построении VoIP сетей, таких как: G.711, G.723.1m, G.723.1a, G.729, можно получить значения задержки пакетизации, используемые при расчете r-factor`а и не только. Сведем данные технических характеристик кодеков в таблицу 2.

Таблица 2.

**Типы речевых кодеков и их характеристики**

| Кодек:  | G.711<br>1 | G.723.1<br>m | G.723.1 a | G<br>.729 |
|---|------------|--------------|-----------|-----------|
| Скорость передачи, кбит/с                               | 64         | 6,3          | 5,3       | 8         |
| Длительность кадра, мс                                  | 5          | 30           | 30        | 1<br>0    |
| Задержка пакетизации, мс                                | 1          | 67,5         | 67,5      | 2<br>5    |
| Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц | 174,4      | 43,73        | 41,6      | 6<br>2,4  |
| Задержка джиттер-буфера, мс                             | 2 - 4      | 60           | 60        | 2<br>0    |
| Значение R-фактора                                      | 93,2       | 78,2         | 74,2      | 8<br>2,2  |
| Теоретическая максимальная оценка MOS                   | 4,4        | 3,87         | 3,69      | 4<br>,07  |

Помимо Е-модели существуют и другие критерии оценки качества трафика в сети, такие как QoS.

QoS представляет собой набор критериев по которым можно оценить качество сети и качество передаваемого речевого трафика. Согласно QoS все сети можно разделить на три класса качества:

I класс сети характеризуется следующими техническими параметрами – потеря пакетов не должна превышать 0.5% от общего количества пакетов сети и вариативная задержка не должна превышать

10мс. Сети первого класса качества предоставляют наилучшее качество речи в сети.

II класс - потеря пакетов не превышает 1% от общего количества пакетов в сети и вариативная задержка не превышает 20мс. Сети второго класса качества предоставляют высокое качество речи в сети.

III класс - потеря пакетов не превышает 2% от общего количества пакетов в сети и вариативная задержка не превышает 40мс. Сети третьего класса качества предоставляют среднее качество речи в сети. [2]

Вариативную задержку или же джиттер можно описать как разброс максимального и минимального времени прохождения пакета от среднего. В отличие от естественной задержки, при передаче в сети, джиттер появляется не из-за самого факта задержки, а по причине флюктуации времени задержки от пакета к пакету. При выходе из-под контроля, данный параметр может повлиять на качество передаваемой речи. Если разброс становится слишком большим и превышает 150 мс, то стороны обычно замечают задержки в разговоре, появляются паузы в разговоре и эхо. Наиболее часто применяющийся метод борьбы с джиттером — джиттер-буфер, хранящий определенное количество пакетов [4, с. 5-7; 3]. Для компенсации неравномерной скорости поступления пакетов на приемной стороне создают временное хранилище пакетов - джиттер буфер. Его задача, собрать поступающие пакеты в правильном порядке в соответствии с временными метками и выдать их кодеку с правильными интервалами и в правильном порядке.

Помимо критериев качества QoS так же включает в себя набор сервисов которые, при должной настройке, приведут к улучшению качества голосового трафика в сети.

Одним из основных принципов QoS является приоритезация трафика и выделение отдельной полосы под каждый вид трафика, что приводит к

уменьшению количества потерянных пакетов и уменьшению вариативной задержки в сети [2; 3].

## **Корреляция объективной и субъективной оценок качества речи в сети**

Задержка доставки пакета это время переноса пакета от источника до получателя. Время задержки меняется в зависимости от трафика в сети и доступных сетевых ресурсов, в частности, пропускной способности, во время доставки. Речь это трафик, чувствительный к задержке - если задержка доставки пакета превышает определенное значение, пакет отбрасывается. В результате, при большом числе отброшенных пакетов качество речи ухудшается, что и отражено в приведенной выше формуле для R-фактора, где влияние задержки учтено через составляющую  $L_d$  и улучшается применением пакета сервисов QoS [2; 3].

Рассмотрим параметр задержки  $L_d$  более детально. Согласно Е-модели данный параметр описан следующим образом «искажения за счет суммарной сквозной задержки ("из конца в конец") в сети». Исходя из определения, данный параметр можно представить в виде суммы задержек вносимых факторами сети:

$$L_d = D_p + D_{nk} + D_{nn} + D_{ob} \quad (2)$$

где  $D_p$  — задержка распространения: время прохождения электрического сигнала в металлическом или волоконно-оптическом кабеле или в беспроводной среде. Данный параметр является постоянным для построенной сети т.к. опирается на технические характеристики коммутационного оборудования.

$D_{nk}$  — задержка пакетизации: время, которое необходимо затратить в кодеке для преобразования аналогового сигнала в цифровой и

формирования пакета. Данный параметр является постоянным для кодеков, используемых в сети.

D<sub>nn</sub> — задержка переноса пакета: время прохождения пакета через все устройства сети. Данный параметр можно рассчитать при помощи протокола RTP, который используется в пакетных сетях для передачи голосового трафика. Согласно технической документации, при передачи пакета данный протокол устанавливает метки прибытия пакетов, что позволяет отследить время доставки пакета [8]. Следовательно, данное значение можно представить в следующем виде:

$$D_i = (R_i - R_{i-1}) - (S_i - S_{i-1}) = \Delta R_i - \Delta S_i, \quad (3)$$

где R — время прибытия пакета в метках времени RTP, S — времененная метка RTP, взятая из пакета.

D<sub>бд</sub> — задержка на приемной стороне в буфере джиттера. Согласно технической документации RTP и UDP-Lite данный параметр можно представить следующим образом [8]:

$$D_{\partial\delta} = J_i = J_{i-1} + \frac{|D_{i-1}| - J_{i-1}}{16} \quad (4)$$

Основываясь на полученных данных, представим формулу расчета задержки следующим образом:

$$L_d = D_P + D_{nk} + \Delta R_i - \Delta S_i + J_{i-1} + \frac{|D_{i-1}| - J_{i-1}}{16} \quad (5)$$

Сопоставим критерии качества QoS и оценки MOS. Оценим взаимозависимость критериев качества QoS и оценки MOS. Для этого обратимся к расчету значения r-factor`а.

Согласно документации значение L<sub>s</sub> является постоянным для используемого кодека и будет приблизительно равно значению D<sub>nk</sub>.

Преобразуем формулу расчета r-factor`а согласно вышеизложенным утверждениям:

$$R = R_0 - L_s - L_e - L_d + A = R_0 - L_s - L_e - (D_P + D_{nk} + \Delta R_i - \Delta S_i + J_{i-1} + \frac{|D_{i-1}| - J_{i-1}}{16}) = R_0 - 2L_s - D_P - \Delta R_i + \Delta S_i - J_{i-1} - \frac{|\Delta R_{i-1} - \Delta S_{i-1}| - J_{i-1}}{16} - L_e + A . \quad (6)$$

Анализ полученного выражения показывает, что подавляющее количество параметров влияющих на значение r-factor`а являются параметрами задержки. Применение пакета сервисов QoS введет приоритезацию трафика в сети, что приведет к уменьшению потерь пакетов и, как следствие, улучшит следующие значения задержки  $D_P$ ,  $\Delta R_i - \Delta S_i$ ,  $D_{\partial\delta}$ ,  $L_e$ . Внедрение приоритетизации трафика так же уменьшит вариативную задержку за счет выделения отдельного «канала» под каждый вид трафика.

### **Моделирование полученных результатов**

Основываясь на полученных результатах, авторы, при помощи программного обеспечения OPNet IT Guru Academic Edition 9.1, создали несколько моделей мультисервисной сети.

Основываясь на данных моделях были построены графики зависимости между нагрузкой на сеть и параметрами качества сети. В одной из моделей авторы подключили пакет сервисов QoS и исследовали его влияние на качество трафика в мультисервисной сети. Рассмотрим построенные модели и параметры качества в них.

Модель Small\_Office – модель сети в которой нет проблем с качеством связи, за счет низкой нагрузки на сеть. Данная модель сети представлена на Рис. 1.

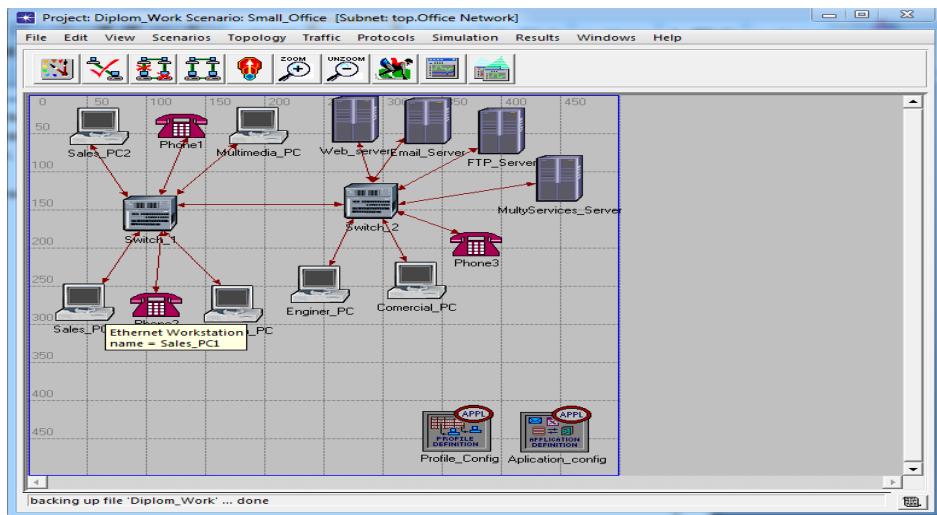


Рис. 1. – Модель мультисервисной сети Small\_Office

В сети такого размера передается достаточно маленькое количество трафика, и процент потерь пакетов будет минимальным. Согласно Е-модели, значение R-factor`а в данной сети будет стремиться к значению  $R_0$ .

Модель Big\_office – модель более крупной сети, нежели Small\_Office. В этой модели количество трафика увеличено в 4 раза, за счет увеличения числа пользователей и сервисов предоставляемых внутри сети. Сравнение поведения двух упомянутых моделей предоставлено на Рис. 2.

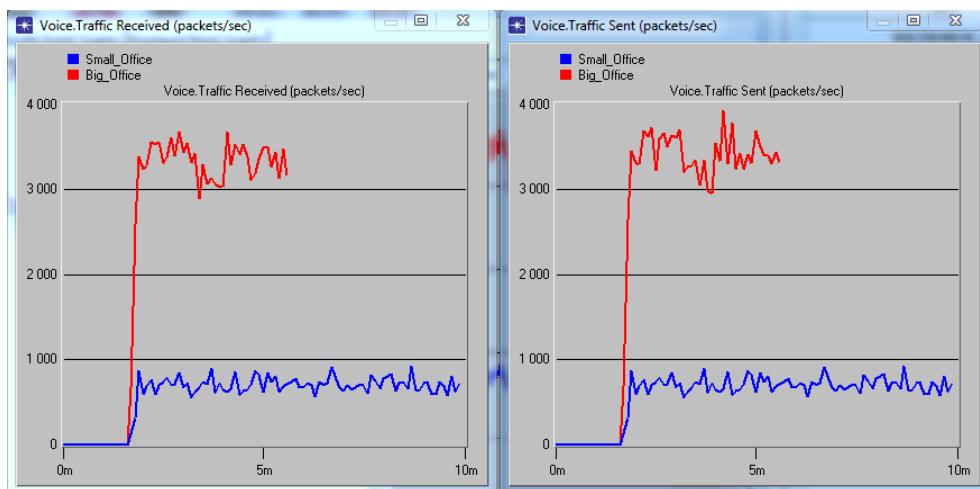


Рис. 2 . - Сравнение объема трафика в моделях Small\_Office и Big\_office

Значительный рост трафика приводит к конфликтам при передаче пакетов, что несомненно приведет к росту значения параметров вариативной задержки и сквозной задержки, что иллюстрируется на Рис 3.

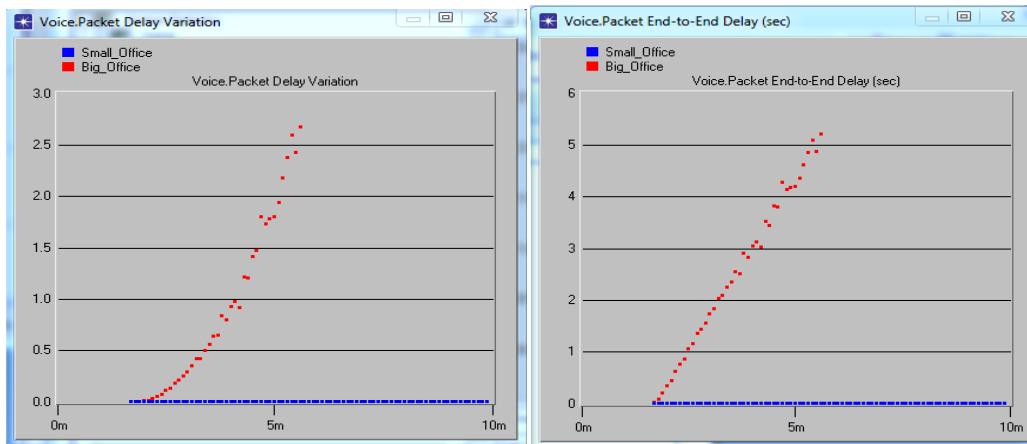


Рис 3. - Сравнение параметров качества в моделях Small\_Office и Big\_Office

Как видно, после увеличения количества трафика в 4 раза, значения параметров качества существенно ухудшились. В сети с такими задержками невозможно пользоваться сервисами передачи речи т.к. будет появляться эхо и разрывы связи.

Для улучшения качества речи в сети авторы воспользовались пакетом сервисов QoS. Результаты внедрения пакета сервисов QoS были смоделированы в модели сети Big\_office\_qos. Это модель сети Big\_office, к которой были применены пакеты сервисов QoS, что привело к значительному улучшению качества предоставляемого голосового сервиса. Сравним значения параметров качества в моделях Big\_Office и Big\_Office\_qos. Результаты сравнения проиллюстрированы на Рис 4.

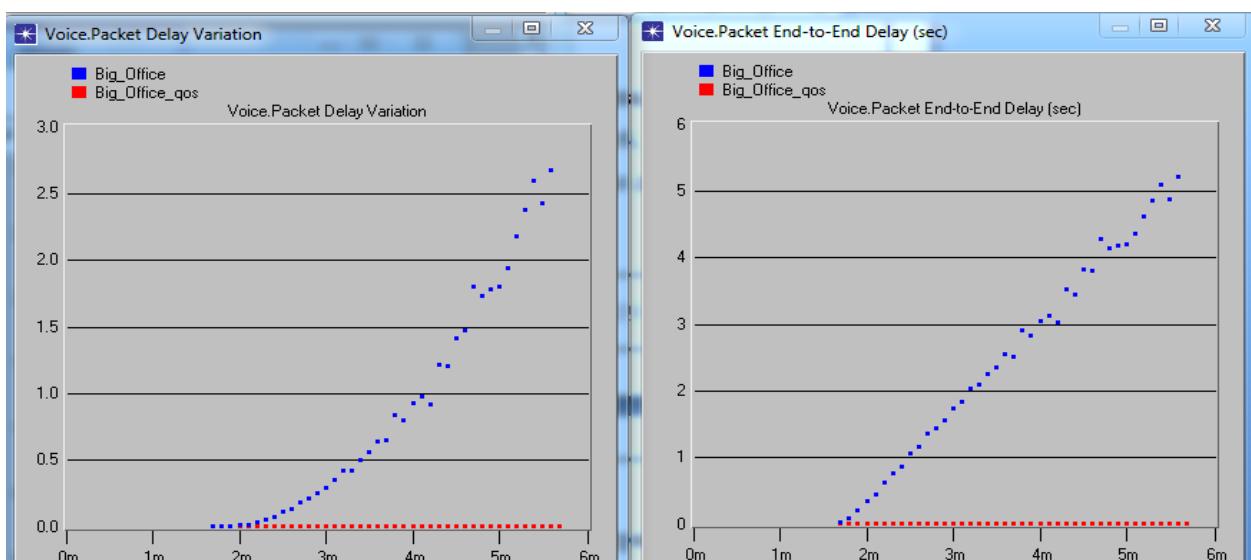


Рис 4. - Улучшение параметров качества речи в моделях Big\_Office и Big\_Office\_qos

Как видно на графиках, применение пакета сервисов QoS привело к значительному уменьшению значений сквозной и вариативной задержек.

При помощи данных полученных при моделировании мультисервисной сети и формулы расчета R-factor`а определим показатели MOS для моделей Big\_office\_qos и Big\_office. Ключевые параметры необходимые нам для расчетов представлены на Рис 4 и в технической документации к кодекам отображеной в Таблице 2, а именно параметры  $L_s$  и  $L_d$ . Для модели Big\_office значения этих параметров будут следующими:  $L_s = 1\text{мс} \sim 0\text{с}$  и  $L_d + L_e \sim 2.5\text{с} + 5\text{с} \sim 7.5\text{с}$ . Для модели Big\_office\_qos они будут приближенными к 0с.

Воспользовавшись формулой расчета R-factor`а, и данными полученными при моделировании мультисервисной сети представим значение R для модели Big\_office используя значения модели Big\_office\_qos. Для модели Big\_office\_qos значении R будет выглядеть следующим образом:  $R_{bo\_qos} = R_0 - L_{s_{bo\_qos}} - L_{e_{bo\_qos}} - L_{d_{bo\_qos}}$ .

Используем данные параметры как эталонные для нашего сравнения

Для модели Big\_office значение R будет выглядеть следующим образом:  $R_{bo} = R_0 - L_{s_{bo\_qos}} - 7.5(L_{e_{bo\_qos}} + L_{d_{bo\_qos}})$ .

Сведем полученные данные в систему уравнений:

$$\begin{cases} R_{bo\_qos} = R_0 - L_{s_{bo\_qos}} - (L_{e_{bo\_qos}} + L_{d_{bo\_qos}}) \\ R_{bo} = R_0 - L_{s_{bo\_qos}} - 7.5(L_{e_{bo\_qos}} + L_{d_{bo\_qos}}) \end{cases} \quad (7)$$

Параметры  $R_0$  и  $L_{s_{bo\_qos}}$  идентичны для каждой модели, т.к. в обоих моделях используется кодек G.711, а для данного кодека параметры  $R_0$  и  $L_{s_{bo\_qos}}$  являются постоянными величинами. Следовательно  $R_{bo} \sim 7.5R_{bo\_qos}$ . Формально, исходя из таблицы 1, вычисляемое значение MOS для модели Big\_Office будет в 7.5 раз меньше вычисляемого значения MOS для модели Big\_Office\_qos, хотя это и может показаться слишком большим различием. Очевидно, что экспертные оценки MOS имеют

нелинейный характер зависимости от влияющих технических факторов.

Тем не менее, опираясь на результаты моделирования и расчет показателей MOS в первом приближении для обеих моделей, можно сделать вывод, что применение пакета сервисов QoS положительно влияет на качество речи в пакетной сети.

## **Заключение**

Наиболее распространенный и точный критерий оценки качества речи в VoIP сетях – это восприятие услуги пользователем или MOS (Mean Opinion Score). Однако субъективные оценки до сих пор не были точно сопоставлены с техническими характеристиками, которые используются при проектировании и эксплуатации сетей.

Для решения данной проблемы в ряде случаев применяют подход, использующий Е-Модель и r-factor, числовые значения которых коррелируются со значениями MOS. В работе была детально проанализирована развернутая формула для расчета значения r-factor`а, что позволило показать механизм преимущественного влияния QoS на качество голосового сервиса в сети. Изначально пакет сервисов QoS был создан для улучшения качества любого трафика в сети за счет других его типов, однако недостаточно четко подтверждено его влияние на качество передачи речи в пакетной сети, так как оно имеет существенно нелинейный характер.

В данной работе авторы продемонстрировали положительное влияние пакета сервисов QoS на качество голосового трафика в IP сети.

**Литература:**

1. «The E-model» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelev1/tut.htm>
2. «Оценка качества VoIP» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ixc.ua/110>
3. «Объективная оценка качества обслуживания при передаче речи в пакетных сетях» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://helpiks.org/7-25961.html>
4. Mean opinion score (MOS) terminology, ITU-T Recommendation P.800.2, May 2013
5. Mean opinion score / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mean\\_opinion\\_score](https://en.wikipedia.org/wiki/Mean_opinion_score)
6. Definition of categories of speech transmission quality, ITU-T Recommendation G.109, September 1999
7. The E-model: a computational model for use in transmission planning, ITU-T Recommendation G.107, June 2015
8. «The Lightweight User Datagram Protocol (UDP-Lite)» / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rfc.com.ru/rfc3828.htm>