

UOT 004.934.2

Ağayev B.S.

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

[depart6@iit.ab.az](mailto:depart6@iit.ab.az)

## IP ŞƏBƏKƏLƏRDƏ SƏS KEYFİYYƏTİNİN QIYMƏTLƏNDİRİLMƏSİ MODELİ

*Paket kommutasiyalı audioinformasiya şəbəkələrindən qəbul edilən səs siqnallarının keyfiyyətini qiymətləndirmək üçün model təklif edilmişdir. Audiopaketlərin gecikmələrinin minimallaşdırılması üsulu ilə səs keyfiyyətinin idarə edilməsi məsələsinə baxılmışdır.*

**Açar sözlər:** audioinformasiya, paketlərin kommutasiyası, səs siqnalları, siqnalların gecikməsi, paketlərin itməsi, R-keyfiyyəti.

### Giriş

Audioinformasiya şəbəkələrinin (AİŞ) əsas məqsədi ötürülən səs siqnallarını istifadəçilərə rahat səs ucalığı, yüksək dərəcədə anlaşılıqlı və aydın şəkildə, eləcə də danışanın səsinin təbiiliyinin saxlanması şərti ilə çatdırmaqdır. Ona görə də bu şəbəkələrin işinin effektivlik meyarı kimi iqtisadi məqsədəuyğunluq, etibarlılıq və s. ilə yanaşı keyfiyyət meyarları da qəbul edilir. Buradan da sistemin təyinat göstəricilərini təmin edən keyfiyyət meyarlarının müəyyənləşdirilməsi, bu meyarlara görə keyfiyyətin ədədi qiymətlərinin ölçülməsi, hesablanması, başqa sözlə, qiymətləndirilməsi məsələləri yaranır. Ona görə də AİŞ-i layihələndirən, yaradan, şəbəkə avadanlıqlarını istehsal edən və bu şəbəkələri istismar edən tərəflər üçün sistemin təmin etdiyi səs siqnallarının (xüsusi halda nitq siqnallarının) keyfiyyət göstəricilərinin qiymətləndirilməsi və keyfiyyətin idarə edilməsi üçün modellərin, metod və alqoritmlərin işlənməsi aktual məsələdir.

### Məsələnin qoyuluşu

Məlum olduğu kimi audioinformasiya şəbəkə və sistemlərindən qəbul edilən səsin keyfiyyəti səs siqnallarının üç keyfiyyət meyarına görə: səsin ucalığına (nitqin rahat səviyyədə eşidilməsi), anlaşılıqlığına (danışığın aydın, deyilən məzmununda qavranması) və təbiiliyinə (səsə görə danışanın şəxsiyyətinin tanınması xüsusiyyəti) görə qiymətləndirilir. Ona görə də səs keyfiyyətinin istər ayrı-ayrı meyarlara görə, istərsə də inteqral meyara görə qiymətləndirilməsi üçün ITU-T (International Telecommunication Union), ETSI (European Telecommunication Standart Institute) və s. beynəlxalq təşkilatlar bir çox metod və alqoritmlər işləmişlər [1, 2]. Bu təşkilatlar subyektiv metodları, xüsusən ekspert-artikulyasiya metodlarını ən dəqiq və yararlı qiymətləndirmə metodları hesab edir. Lakin subyektiv metodlar bir sıra ciddi çatışmazlıqlara malikdir:

- xüsusi təlim keçmiş artikulyasiya briqadasının saxlanması;
- kanalın hər iki başında xüsusi akustik şəraiti olan otaqların təşkil edilməsi;
- testləşdirilən kanalın (xəttin) real iş rejimindən çıxarılması və s.

Subyektiv metodlar qiymətləndirmə prosesini avtomatlaşdırmağa imkan vermədiyi üçün bu prosesi insanın iştirakı olmadan, texniki vasitələrlə aparılmasını mümkün edən metodlar işlənməmişdir [3]. Bu metodlar obyektiv və ya texniki metodlar adlanır.

İşdə, böyük əhatə dairəsinə malik coğrafi olaraq paylanmış paket kommutasiyalı audioinformasiya şəbəkələrində səs keyfiyyətini qiymətləndirmək məqsədilə keyfiyyətə təsir edən əsas faktordan – audioməlumatları son qovşağa ötürmə (çatdırma) müddətindən, yəni kanal gecikmələrinin cəm göstəricisindən istifadə edilmişdir. Keyfiyyətin və nəticə etibarilə sistemin iş effektivliyinin idarə edilməsi isə daşıma müddətinin minimallaşdırılması məsələsinə gətirilir.

## Məsələnin həlli

Məlumdur ki, mətn informasiyasından fərqli olaraq səs siqnalları ötürmə şəbəkəsinin kanal dövrlərində yaranan müxtəlif mənşəli gecikmələrə çox həssasdır. Ona görə də real vaxt rejimində işləyən paket kommutasiyalı audioinformasiyanın paylanmış emalı sistemlərində (PK APES), məsələn, audiokonfrans, operativ-dispetçer, IP-telefoniya, Call-center və s. sistemlərin giriş və çıxış siqnallarının vaxta görə sinxronlaşmasına sərt tələblər qoyulur. Bu prosedə səs fraqmentlərinin şəbəkəyə daxil olma anı ilə çıxışda qəbuletmə (eşitmə) anı arasında yaranan gecikmə müəyyən kritik həddən böyük olmamalıdır. Əks halda audioinformasiya mübadiləsi iştirakçılarının danışıq növbəliliyinə riayət etməsi çətinləşir və gecikmələrin müəyyən qiymətində dialoq mümkün olmur. Halbuki, mətn informasiyasının, məsələn, e-mail, web-səhifə və s. məlumatların dəfələrlə böyük gecikmələrlə çatdırılması mübadilə keyfiyyətinə bir o qədər təsir etmir.

Ona görə də ITU-T-nin normativ sənədlərində PK APES-lər üçün cəm gecikmələrin nominal qiyməti 150 ms, maksimal qiyməti isə 400 ms həddində müəyyənləşdirilmişdir [1, 2, 4].

Lakin PK APES-lərdə nitq məlumatlarının yaranma ardıcılığı ilə fasiləsiz axınla yox, müstəqil paketlərlə, hissə-hissə daşınması, siqnallar üzərində əlavə kodlama əməliyyatlarının (rəqəmləşdirmə, paketləşdirmə, kadrlama, kompressiya və əks deşifrəmə əməliyyatları) aparılması, izafi trafik yüklənmələri zamanı paketlərin ötürülmə növbəliliyinin əmələ gəlməsi və s. əlavə gecikmələr yaratmaqla səs keyfiyyətini kəskin şəkildə pisləşdirir.

Aydındır ki, məsələyə bu nöqtəyi-nəzərdən yanaşdıqda audioməlumatların daşınma müddəti funksiyasında nə qədər çox gecikmə komponenti nəzərə alınarsa, hesablama dəqiqliyi bir o qədər yüksək olar. Lakin bütün gecikmə komponentlərinin vahid funksiya şəklində formalizə edilməsi çətin olduğu üçün, adətən, bütün komponentlər nəzərə alınmır və ya istismarda olan şəbəkənin konkret vəziyyəti nəzərə alınır. Məsələn [5, s.107-110]-da ötürmə şəbəkəsində yaranan exo siqnallarının emal müddəti, çıxış qovşağında kodlama əməliyyatlarına sərf edilən müddət gecikmə komponentləri kimi nəzərə alınmamışdır. Bəzi mənbələrdə kodlaşdırılan məlumatların elektrik siqnallarının fiziki mühitdə yayımı üzrə yaranan gecikmələr nəzərə alınmır, halbuki, bu gecikmə komponenti ötürülən audioinformasiyanın keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə pisləşdirə bilər. Məsələn, audioinformasiyanı ötürmə şəbəkəsi dövrəsində peyk rabitəsi traktından istifadə edilirsə təkcə bu alt şəbəkə seqmentində siqnalların yayım müddəti hesabına təxminən 400 ms gecikmə yaranır ki, (siqnallarının peykdən yer səthindəki ötürücü-qəbuledici stansiyalaradək olan 72000,0 km məsafəni 300000,0 km/san sürətlə qət etmə müddəti) bu da keyfiyyət üzrə normativ sənədlərdə nəzərdə tutulan kritik qiymətə yaxındır.

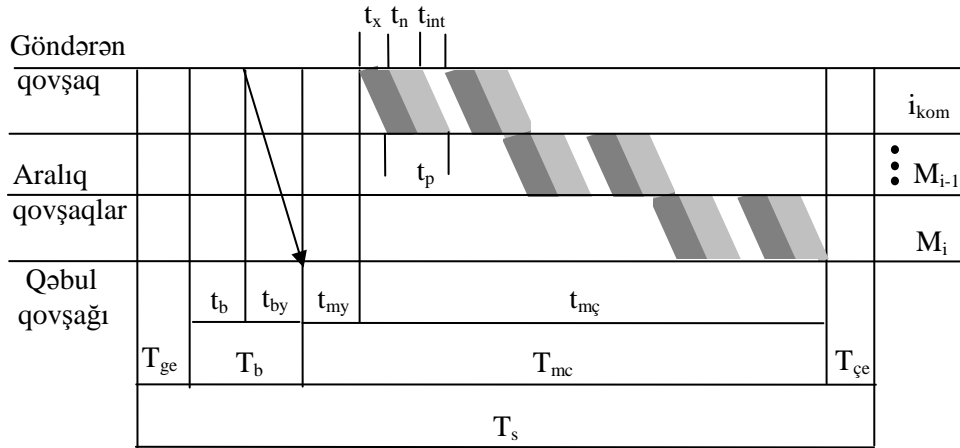
Məsələni formalizasiya etmək üçün şəbəkə dövrəsində yaranan gecikmə komponentləri sxematik olaraq şək.1-dəki kimi göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi seans audioməlumatlarının bir qovşaqdan (göndərəndən) digər qovşağa (alana) ötürmə vaxtını aşağıdakı kimi göstərmək olar.

$$T_s = T_{ge} + T_b + T_{mc} + T_{çe} \quad (1)$$

Burada  $T_{ge}$  – audioinformasiyanın giriş qovşağında emal müddəti;  $T_b$  – marşrut boyu kanalyaratma müddəti;  $T_{mc}$  – audioməlumatın kanaldan cəm ötürülmə müddəti;  $T_{çe}$  – audioinformasiyanın çıxış qovşağında emal müddəti.

Tərkib hissələrini göstərməklə (1)-i tam halda aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$T_s = t_{a-k} + t_{kod} + t_{kompr} + t_{pak} + t_b + t_{by} + t_{my} + (t_x + t_n)N_p + t_{in_t}(N_p - 1) + t_{exo} + (t_g + t_{buf} + t_{kom})M_{kom} + t_{dpak} + t_{dekompr} + t_{dekod} + t_{k-a} \quad (2)$$



Şəkil 1. PKŞ-lərdə gecikmələrin zaman diaqramı

Burada –  $T_{ge}$  ( $t_{a-k}$ ,  $t_{kod}$ ,  $t_{kompr}$ ,  $t_{pak}$ ) və  $T_{ce}$  ( $t_{k-a}$ ,  $t_{dekod}$ ,  $t_{dekompr}$ ,  $t_{depak}$ ) – giriş və çıxış qovşaqlarında səs siqnalının analoq-kod (kod-analoq), kodlaşma (dekodekləşmə), kompressiya (dekompressiya), paketləşmə (depaketləşmə) proseslərinə sərf edilən müddət,  $T_b$  ( $t_b$ ,  $t_{by}$ ) – xidməti kanalyaradıcı informasiyanın emal müddəti və yayımının gecikmə müddəti,  $T_{mc}$  ( $t_{my}$ ,  $t_{mç}$ ) – audioməlumatların kanalda yayım müddəti və kanaldan ötürülmə müddəti,  $t_x$ ,  $t_n$  – paketin xidməti və aktiv hissəsinin emal müddəti,  $t_{int}$  – paketlərarası interval,  $N_p$  – kadrda paketlərin sayı,  $t_{exo}$  – exo siqnalını emal müddəti,  $t_g$  – kommutatorunda növbəliyi gözləmə müddəti,  $t_{buf}$  – informasiyanı buferə yazma müddəti,  $t_{kom}$  – informasiyanı çıxışa kommutasiya müddəti,  $M_{kom}$  – marşrutlaşma dövrəsində kommutatorların sayı.

Ötürən qovşaqda kodlaşma əməliyyatları üzrə yaranan gecikmələr, yəni analoq-kod çevirmələrinə, rəqəmsal seçimlərin kodlanmasına, paketləşdirmə və kompressiyaya, eləcə də qəbul edən qovşaqdakı uyğun deşifrləmə əməliyyatlarına sərf edilən müddətlərin ayrıca göstərilməsi hər bir komponentin ümumi müddətdəki çəkisi haqqında təsəvvür yaradır və şəbəkənin xidmət heyətinə şəbəkə parametrlərini daha keyfiyyətlə sazlaşdırmağa və ya texniki vasitələri əvəzləməyə imkan verir. Funksiyanın hesablanması üçün komponentlərin qiymətlərini administrator müstəqil şəkildə uyğun ölçmələr aparmaqla və ya avadanlığın texniki göstəricilərindən istifadə etməklə əldə edə bilər. Bu məqsədlə hazır program məhsullarından da istifadə edilə bilər. Funksiya üzrə hesablanmış daşınma müddətinə görə səs keyfiyyətini müxtəlif metodikalar üzrə, məsələn, ITU-T-nin G-107 tövsiyəsinə uyğun olaraq müəyyənləşdirmək olar (cədvəl). Bu metodika üzrə müəyyənləşdirilmiş keyfiyyət səsin R-keyfiyyəti adlanır (Quality-Rating) [2].

Cədvəl 1

R-keyfiyyətin kanal gecikmələrindən asılılığı

Sınıf	Ən yaxşı (best)	Yüksək (high)	Orta (medium)	Aşağı (best effort)
R	*	>85	>70	>50
Gecikmə, ms	<100	<100	<150	<400

Qeyd: \* G.711-dən (64 kbit/san) daha sürətli kodeklərdən istifadə etməklə mümkündür, yəni mövcud kodeklərlə R>85 keyfiyyətini təmin etmək mümkün deyil.  
Keyfiyyəti R<70 olan IP-telefoniya şəbəkələrini layihələndirməmək məsləhətdir.

Lakin ITU-T və ETSI tövsiyələrinə görə qeyd olunan obyektiv metodlarla hesablanan R-keyfiyyəti standartlaşdırılmış metodologiya olan subyektiv-artikulyasiya üzrə 5 ballı MOS (Mean Opinion Score – qənaətlərin orta qiyməti) qiymətləndirmə dərəcələri ilə ifadə edilməlidir. Bu ekvivalentlik ITU-T-nin təklif etdiyi qaydada müəyyənləşdirilir [2, 6, 7].

Təklif edilən modelin bəzi komponentlərini ayrı-ayrılıqda və ya kompleks şəkildə minimallaşdırmaqla və ya optimal qiymətlərinə görə tənzimləməklə səs keyfiyyətini idarə etmək və sistemin iş effektivliyini yüksəltmək olar. Son qovşaq kompyuterinin (“kompyuter-kompyuter” sonluqlu IP-şəbəkələrdə) və ya səs şlyuzlarının (“telefon-telefon” sonluqlu IP-şəbəkələrdə) kodeklərində paket parametrlərinin optimal qiymətlərini (xüsusi halda minimal qiymətlərini) seçməklə yekun gecikməni xeyli azaltmaq olar. Adətən, praktiki məqsədlərlə bir və ya iki parametrin minimallaşdırılmasından istifadə edilir. Məsələn, [8, s.109-112]-də minimallaşdırma parametri kimi paketin maksimal uzunluğu (başlıq hissəsi sabit qalmaq) götürülmüşdür. Lakin praktiki olaraq bir çox hallarda ötürmə texnologiyasının imkan verdiyi maksimal uzunluqlu paketlər nəinki gecikmələri azaltmır, əksinə artır da bilər. Məsələn, ötürmə xətlərinin keyfiyyəti aşağıdırsa (məsələn, abonent şəbəkəsinin köhnə tipli xətləri) maksimal uzunluqlu paketlərin səhv və ya itkilərlə ötürülməsi ehtimalı və təkrar göndərmələr hesabına daşınma müddəti xeyli arta bilər. Və ya, strateji əhəmiyyətli operativ-dispetçer sistemlərində səhvlərə və itkilərlə sərt tələblər qoyulduğu üçün gecikmələrin azaldılması orta və ya digər uzunluğa malik paketlər hesabına ola bilər. Qeyd edək ki, ATM istisna olmaqla hər bir ötürmə texnologiyasında, məsələn, X.25, FR, TCP, UDP kimi ərazicə paylanmış AİŞ protokollarında paketlərin verilənlər hissələrinin tənzimlənməsi imkanı nəzərdə tutulmuşdur. Məsələn, X.25 protokolunda verilənlərin uzunluğunu  $2^n$   $n = 4, \dots, 10$  həddində manipulyasiya etmək olar. Əgər daşınan informasiya audioməlumatlıdırsa bu protokolda paketin verilənlər hissəsinin həcmi ümumiyyətlə standartlaşdırılmır. FR-də bu parametr 0...4056 bayt, TCP-də 1500...65535 bayt intervalında tənzimləyə bilər.

Deyilənləri nəzərə alaraq (2) modeli üzrə audioməlumatların ötürülmə müddətinin paketlərin aktiv (audioverilənlər) hissəsindən asılılığını müəyyənləşdirək. Bu məqsədlə (2)-nin toplananlarını aşağıdakı kimi qruplaşdıraraq.

$$T_s = [t_{a-k} + t_{kod} + t_{komp} + t_{pak} + t_{dpak} + t_{dekomp} + t_{dekod} + t_{k-a}] + [(t_x + t_n)N_p] + [t_{int}(N_p - 1) + t_{exo} + t_b + t_{by} + t_{my}] + [(t_g + t_{buf} + t_{kom})M_{kom}] \quad (3)$$

Aşağıdakı işarələri və sadələşdirmələri qəbul edək:

- ötürülən rəqəmləşdirilmiş məlumatın uzunluğu – I;
- bir paketin aktiv hissəsinin uzunluğu –  $I_n$ ;
- bir paketin xidməti hissəsinin uzunluğu –  $I_x$ ;
- 1-ci mötərizədəki əməliyyatların yerinə yetirilmə sürəti –  $V_i$ ,  $i=1, 2, \dots, 8$ ;
- 2-ci mötərizədəki əməliyyatın yerinə yetirilmə sürəti –  $V_9$ ;
- $t_{int} = t_1$ ;
- $t_{exo} + t_b + t_{by} + t_{my} = t_2$ ;
- kommutatorların sayı – m;
- kommutatorların çıxış portundan kommutasiya sürətləri –  $V_{9+j}$ ,  $j=1, 2, \dots, m$ .

1...4-cü mötərizələrini uyğun olaraq  $T_1 \dots T_4$  ilə işarələsək və  $N_p = I/I_n$  olduğunu nəzərə alsaq yaza bilərik:

$$T_1 = \sum_{k=1}^8 \frac{1}{V_k} \cdot I \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{I_x + I_n}{V_9} \cdot \frac{I}{I_n} = \frac{I}{V_9} \cdot \frac{I_x}{I_n} + \frac{I}{V_9} \quad (5)$$

$$T_3 = t_1 \left( \frac{I}{I_n} - 1 \right) + t_2 = t_1 \frac{I}{I_n} + t_2 - t_1 = t_1 \frac{I}{I_n} + t_3 \quad (6)$$

Burada  $t_3 = t_2 - t_1$

$$T_4 = \sum_{k=10}^{9+m} \frac{I_n + I_x}{V_k} = (I_n + I_x) \sum_{k=10}^{9+m} \frac{1}{V_k} \quad (7)$$

$\sum_{k=10}^{9+m} \frac{1}{V_k} = h$  ilə işarə etsək, onda  $T_4 = hI_n + hI_x$ , (3) isə aşağıdakı kimi olar:

$$T_s = \sum_{i=1}^4 T_i = \sum_{k=1}^8 \frac{1}{V_k} \cdot I + \frac{I}{V_9} \cdot \frac{I_x}{I_n} + \frac{I}{V_9} + t_1 \frac{I}{I_n} + h \cdot I_n + h \cdot I_x + t_3 \quad (8)$$

$\frac{I}{V_9} = a$ ;  $t_1 \cdot I = b$  və  $\sum_{k=1}^8 \frac{1}{V_k} I + \frac{I}{V_9} + t_3 = d$  işarə etsək (8) aşağıdakı kimi olar:

$$T_s = \frac{a \cdot I_x + b}{I_n} + h \cdot I_n + h \cdot I_x + d \quad (9)$$

Paketin aktiv hissəsinin uzunluğunu  $I_n = x$  kimi işarələsək funksiyanın minimumunun tapılması aşağıdakı tənliyin həllinə gətirilər:

$$T(x) = \frac{a \cdot I_x + b}{x} + h \cdot x + h \cdot I_x + d \rightarrow \min \quad (10)$$

$C_1 = a \cdot I_x + b$  və  $C_2 = h \cdot I_x + d$  qəbul edib funksiyanı adi qaydada həll etsək:

$$-\frac{C_1}{x^2} + h = 0$$

$$I_n = \sqrt{\frac{C_1}{h}} = \sqrt{\frac{a \cdot I_x + I \cdot t_{\text{int}}}{h}}$$

Alınmış ifadənin analizinin bir neçə nəticəsini qeyd edək.

1. Paketin xidməti hissəsinin ( $I_x$ ) uzunluğu artdıqca paketin audioverilənlər hissəsinin uzunluğu da artır, başqa sözlə daha böyük bit həcminə malik paketlərin "həcmi tanıma" xidməti sahəsi daha böyük kod kombinasiyası (dərəcələri) ilə əks etdirilir.
2. Seans audioməlumatları ( $I$ ) böyük olan şəbəkələrdə daha uzun aktiv hissəyə malik paketlərdən istifadə edilə bilər. Məsələn, audiokonfrans sistemləri daha uzunmüddətli seanslarla xarakterizə edildiyi üçün müəyyən şərtlər daxilində, aktiv hissəsi daha böyük bit həcminə malik paketlərdən istifadə edilə bilər.
3. Daha yüksək emal sürətinə (məhsuldarlığa) malik kommutatorlardan istifadə etməklə seans məlumatlarını daha uzun aktiv sahəli paketlərlə daşımaq olar. Həqiqətən, uzun paketlər daha böyük gecikmələrlə ötürülsə də, kommutatorlarda emal proseslərini sürətləndirməklə gecikmələri azaltmaq, deməli, səs keyfiyyətini yüksəltmək olar.

## Nəticə

Paket kommutasiyalı paylanmış audioinformasiya şəbəkələrində yaranan bütün gecikmələri özündə əks etdirən model təklif edilmişdir. ITU-T-nin G.107.Rec. standartlaşdırılmış metodoloji tövsiyələrinə əsaslanaraq audioməlumatların bu modellə hesablanmış qiymətinə görə şəbəkədən qəbul edilən səs siqnallarının R-keyfiyyətini qiymətləndirmək olar. Audioməlumatların daşınma müddətini minimallaşdırma nəticələrinin analizi göstərir ki, bir sıra texniki vasitələrdən və texnoloji üsullardan istifadə etməklə kanal gecikmələrini tənzimləmək və səs keyfiyyətini idarə etmək mümkündür. İşin nəticələrindən provayderlər və korporativ şəbəkə administratorları səs trafiki üzrə xidmət keyfiyyətinin yüksəldilməsi məqsədilə istifadə edə bilərlər.

## Ədəbiyyat

1. ITU-T. Rec. P.800. (08/96). Methods for subjective determination of transmission quality. [www.itu.int](http://www.itu.int)
2. ITU-T. Rec. G.107 (12/98) The E-Model, a computational model for use in transmission planinq. [www.itu.int](http://www.itu.int)
3. Ağayev B.S. Rəbitə kanallarından qəbul edilən nitq informasiyasının qiymətləndirilməsi üsulu. // АМЕА-ның xəbərləri. Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, 2008, XXVIII, №6, s.125–130.
4. Фомин А.Ф. Оценка параметров сетей IP-телефонии. // Информационные технологии, 2003, №2, с.22–32.
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Основы сетей передачи данных. М.: ИНТУИТ.РУ, 2003, 248 с.
6. Курилов О.С. Объективный анализ качества речи в IP-телефонии. Технологии и средства связи, 2002, №4, с.76–78.
7. Крис Байорек. Качество VoIP: корреляция и оценка MOS и R фактора. // Сети и системы связи, 2003, №6, с.98.
8. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.:Мир, 1989, 554 с.

## УДК 004.934.2

**Агаев Бикес С.**

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан

[depart6@iit.ab.az](mailto:depart6@iit.ab.az)

### **Модель оценки качества речи в IP-сетях**

Предложена модель оценки качества речевых сигналов принятых от аудиоинформационных сетей с пакетной коммутацией. Рассмотрена задача управления качеством речи путем минимизации задержек доставки аудиопакетов.

**Ключевые слова:** аудиоинформация, коммутация пакетов, речевые сигналы, задержка сигналов, потери пакетов, R-качество.

**Bikaz S. Agayev**

Institute of Information Technology ANAS, Baku, Azerbaijan

[depart6@iit.ab.az](mailto:depart6@iit.ab.az)

### **Speech quality evaluation model in IP networks**

The model of quality evaluation of speech signals received from audioinformation networks with package switching is proposed. The problem of speech quality management by minimization of latency of audiopackages is solved.

**Key words:** audioinformation, package switching, speech signals, signal delay, packet loss, R-quality.