

---

**İNFORMASIYA-ÖLÇMƏ SİSTEMLƏRİ**  
**ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ**

---

**İ.R.Məmmədov** (Azərbaycan Texniki Universiteti),  
**E.İ.Muradzadə** (Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti)

**İNTERAKTİV TELEVİZİYA YAYIM SİSTEMLƏRİNDƏ**  
**KODLAMANIN ENERGETİK ÜSTÜNLÜYÜNÜN TƏYİNİ**

**Giriş.** Rəqəmli televiziya (TV) yayımının tam rəqəmli olması fikri həqiqəti əks etdirmir. Müasir rəqəmli TV yayım sistemlərində bəzi məqamlar (“ışığı-signal”, “signal-ışığı” çeviriciləri, rabitə kanalı və s.) analoq, bəziləri isə rəqəmlidir, yəni sistem əslində hibriddir [1, 2, 3]. Analoq TV yayımının imkanlarının məhdud olması, siqnalların rəqəmli verilişinin məlum üstünlükləri rəqəmli sistemlərin, o cümlədən rəqəmli TV yayımının tətbiqinə yol açmışdır. Rəqəmli TV yayımı sistemlərində TV mərkəzindən daxil olan analoq təsvir videosiqnalı rəqəmliyə çevrilməlidir. Bu signal kodlayıcıya verilir və formalaşdırıldıqdan sonra TV yayım radiosiqnalı efirə şüalandırılır. Radioqəbuledicinin aldığı analoq signal əks ardıcılıqla aparılan əks əməliyyatlar hesabına yenidən rəqəmliyə çevrilir. Lazımi əməliyyatlardan sonra alınmış analoq videosiqnalı “signal-ışığı” çeviricisinə verilir. Aparılan əməliyyatların təhlili göstərir ki, elektronikanın gələcək inkişaf səviyyələrində də TV yayım sistemi hibrid xarakterli olacaqdır. Lakin müəyyən mərhələdən sonra alınmış rəqəmli TV yayım signalı üzərində əməliyyatlar əsaslı dərəcədə asan yerinə yetirilə bilər.

Verilişin dəqiqliyinin yüksəldilməsi, lazım gəldikdə bəzi TV təsvirlərinin kombinasiyasının yaradılması, maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi, TV təsvirlərinin sintezi, diskret elektron yaddaş elementlərinin geniş tətbiqi, sistemin amplitud xarakteristikasının qeyri-xəttiliyinin signala təsir etməməsi rəqəmli TV-nin əsas üstünlükləridir [2, 4, 5, 6].

Bundan başqa rəqəmli TV yayım sistemində signal/küy nisbətini sabit saxlamaq mümkündür və bu səbəbdən də rəqəmli TV yayım siqnallarının çox uzaq məsafələrə verilməsi o qədər də çətinlik yaratmır. Ona görə də rəqəmli TV yayım siqnallarının ötürülməsi üçün peyk rabitəsindən geniş istifadə oluna bilər.

İnteraktivliyin asan tətbiq olunması imkanı bu üstünlüklərdən biri olmaqla, praktikada digər mühüm keyfiyyət dəyişikliyinə həyata keçirilməsinə imkan yaradır. Belə ki, interaktiv sistemlərdə istismar müddəti ərzində parametrlərin ölçülməsi, qiymətləndirilməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi əhəmiyyətli dərəcədə asan həyata keçirilə bilər [2, 7, 8, 9]. Rəqəmli TV-də həm yerüstü sadə yayımda, həm də “axırınıcı mil” problemini çevik həll etmək üçün yerüstü TV yayımı və kabel TV-nin paylayıcı şəbəkəsində istifadə olunan bəzi çoxkanallı TV sistemlərində interaktivlik tətbiq olunur.

Yerüstü interaktiv TV yayım sistemlərində əks kanal müxtəlif cür qurula bilər, həm də əks kanal biristiqamətli və ya ikiistiqamətli ola bilər. Burada abonentin əks kanal vasitəsilə proqram mənbəyinə qoşulmaq və lazımi məlumatı “çağırmaq” imkanı olur. Lakin bu əks kanal həm də kanalın vəziyyətini qiymətləndirmək, gücü, kodlama metodunu, modulyasiya üsulunu seçmək və s. tənzimləmə işlərini həyata keçirmək üçün də istifadə oluna bilər [10].

**Məsələnin qoyuluşu.** İnteraktivliyin mövcud olduğu çoxkanallı TV sistemlərindən praktikada ən çox tətbiq olunanları LMDS (Local Multipoint Distribution System – Lokal çoxnöqtəli paylayıcı sistem) və MVDS (Multipoint Video Distribution System – Çoxnöqtəli video paylayıcı sistem) sistemləridir. Bu iki sistemin əsas parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir. Onların tətbiq olunduğu şənvari prinsiplə qurulmuş genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkələrinin üstünlükləri və nöqsanları ədəbiyyatlarda verilmişdir [3]. Belə tezliklər oblastında kənar maneələr az olur, lakin müxtəlif effektlər və maneələrdən əks olunan dalğalar dəyişkən çoxşüalı qəbul şəraiti yaradır. Bundan başqa radiodalğaların fəzada yayılması zamanı hava şəraitinin (rütubət, Günəşin təsiri və s.) təsirindən radorabitə xətlərində tezlik-seçici sönmələr yaranır.

Cədvəl 1. LMDS və MVDS sistemlərinin əsas parametrləri

Adı	Modulyasiya üsulu	İşçi tezliyi, QHz	Sotun radiusu, km	Daxilolmanın tipi	Tezlik zolağının eni, QHz
LMDS	(16-QAM/QPSK), OFDM	27,5...31,3	1...10	Ortoqonal CDMA, TDMA/FDMA	1...2
MVDS	QAM (kabel TV) QPSK (peyk TV)	40,2...42,5	1...10	Ortoqonal CDMA	2

Cədvəldən göründüyü kimi hər iki sistem ifrat yüksək tezliklərdə işləyir, sotun radiusları öz aralarında bərabər və kiçik ölçülü olur. Radiusun kiçik olması baza stansiyasının (BS) radiovericisinin gücünü kiçik seçməyə imkan verir. Bu isə öz növbəsində sistemlərin ekoloji cəhətdən zişansız olduğunu təsdiq edir. BS-lərdə istifadə olunan radiovericilərin rəqəmli TV kanallarının sayı analoq TV kanallarının sayından dörd dəfə artıq olur [3]. Göstərilən ifrat yüksək tezliklərdə efirdə kənar maneələr demək olar ki, olmur, lakin ötürülən siqnalların genişzolaqlı olması (gücləndirilən siqnalın spektrinin eni təxminən 186 MHz-ə bərabər olur) qəbuledici-verici traktıda amplitud-amplitud və amplitud-faz keçid maneələrinin yaranmasına səbəb olur. Bu cür qeyri-xətti təhriflər tranzistorlarda yaranan elektromaqnit sahəsi ilə yükdaşıyıcılar arasındakı qarşılıqlı təsirin qeyri-xəttiliyi hesabına yaranır [3]. Digər çarpaz maneələr də buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəblər sırasında yer alır.

Beləliklə, sadə yerüstü və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemləri geniş tətbiq olunmaqdadırlar və onlarda interaktivlikdən istifadə etməklə qiymətləndirmə və operativ tənzimləmə işlərinin həyata keçirilməsi çox vacib və praktiki olaraq effektivdir. “Axırıncı mil” probleminin həlli üçün tətbiq olunan interaktiv çoxkanallı TV sistemlərinin buraxma qabiliyyəti ilə yanaşı, əks kanaldan istifadə edərək onların digər mühüm parametrlərinin də buraxıla bilən həddən aşağı olmaması üçün parametrlərin kompromis qiymətlərinin təmin olunmasına nail olmaq qarşısında duran əsas məsələlərdən biridir.

Rabitə sisteminin energetik effektivliyi şox vacib parametr olmaqla yanaşı, bir sıra digər parametrlərlə sıx əlaqəlidir və onun dəyişməsi sistemin digər parametrlərinə də ciddi təsir göstərir. Energetik effektivliyi müəyyən edən göstəricilərdən biri də vericinin gücüdür. Energetik effektivlik dedikdə tələb olunan siqnal/maneə nisbətində veriliş sürəti başa düşülməlidir. Ona görə də energetik effektivliyi qiymətləndirmək üçün siqnalın gücünü və maneələrin səviyyəsini ayrı-ayrılıqda deyil, siqnal / maneə nisbətini

birbaşa olaraq qiymətləndirirlər [1, 5]. Deməli, energetik effektivliyi artırmaq üçün bir tərəfdən veriliş sürəti artırılmalı, digər tərəfdən isə tələb olunan signal/maneə nisbəti azaldılmalıdır. Bu parametr telekommunikasiya üzrə elmi-texniki ədəbiyyatlarda təhlil edilmiş, onun ifadəsi müəyyən olunmuş və müxtəlif tip parametrlərlə əlaqəsi aydınlaşdırılmışdır. Signal / maneə nisbətinin yüksəldilməsinin müxtəlif imkanları vardır. Hər bir bitin enerjisini artırmaqla signal / maneə nisbətini artırmaq olar [2, 5]. Burada əsas məqsəd interaktivliyin tətbiq olunduğu TV yayım sistemlərində kodlamanın tətbiqi zamanı energetik effektivliyin artmasının qiymətləndirilməsidir.

**Məsələnin həlli.** Tərəfimizdən interaktivliyin tətbiq olunduğu LMDS və MVDS sistemlərində baş verən əsas proseslər araşdırılmış, bu proseslər nəticəsində yaranan effektlər müəyyən olunmuş və onların həllinin ümumi yolları göstərilmişdir (cədvəl 2).

**İntermodulyasiya maneələrinin yaranması və zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması.** Qeyri-xətti effektlər amplitud və faz-amplitud xarakteristikalarının qeyri-xəttiliyi əsasında təyin edilir və çıxış gücünün azalması, intermodulyasiya maneələrinin yaranması, zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması və amplitud-faz keçidləri formasında qarşıya çıxır [3, 10]. Amplitud-faz keçidlərini yaranan digər bir mənbə tranzistorun dinamik giriş parametrlərinin (tutumu və giriş müqavimətinin) ona tətbiq olunan oycadıq və kollektor gərginliklərindən asılı olmasıdır.

Cədvəl 2. Şanvari genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkələrində yaranan əsas elmi-texniki problemlər və onların həlli yolları

№	Problemin adı	Yaranan effekt və ya maneələr	Elmi-texniki problemlərin həllinin ümumi yolları
1	Radioqəbuledicinin aktiv elementində baş verən qeyri-xətti proseslər	Amplitud-amplitud və amplitud-faz tipli keçid maneələri, digər intermodulyasiya maneələri, zəif siqnalların güclü siqnallar tərəfindən bloklanması	Korreksiya dövrlərindən istifadə olunması, uyğun iş rejiminin seçilməsi
2	Radiodalğaların çoxşüalı yayılması	Radioqəbuledicinin girişində siqnalın korrelyasiya pikinin dəyişməsi, amplitudun, fazanın və düşmə bucağının dəyişməsi hesabına siqnalın sönməsi	Siqnalın gücünün artırılması, paylanmış qəbulun (rake-qəbuledicilərin) tətbiqi, güclənmənin avtomatik tənzimlənməsi, müdafiə intervalının artırılması hesabına radioqəbuledicinin girişinin bloklanması, genişzolaqlı siqnallardan və əks olunmuş dalğaların gücündən istifadə olunması
3	Tezlik-seçici təhriflərin yaranması	Müxtəlif tezlik təşkiledicilərinə sönmələrin və çökəkliklərin baş verməsi	OFDM modulyasiyasının tətbiqi, tezlik təşkilediciləri üzrə korreksiyalar, ekvalayzərdən istifadə edilməsi, siqnalın spektrinin genişləndirilməsi, nəzarət siqnalının daxil edilməsi, daha təkmil qəbul metodlarının tətbiqi
4.	Şəbəkədəki BS-lərin qarşılıqlı təsiri	Sistemdaxili maneələrin yaranması	Şəbəkənin düzgün tezlik-ərazi planlaşdırılması, birbaşa kanalda gücün tənzimlənməsi
5.	Şəbəkədə BS-lərin sayının minimuma endirilməsi	Xidmət zonasında etibarlı qəbulun təmin edilməsi, "ölü" zonaların yaranması	"Buster"dən istifadə olunması, interaktivlikdən istifadə etməklə radiovericinin gücünün tənzimlənməsi, modulyasiya üsulunun dəyişdirilməsi

Belə qeyri-xətti təhriflər tranzistordakı fiziki proseslər nəticəsində yaranır və ona görə də onları yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Belə təhrifləri aradan qaldırmaq üçün korreksiya sxemlərindən istifadə etmək məqsədəuyğundur. Gücləndiricinin iş rejiminin düzgün seçilməsi də həmin təhriflərin azalmasına səbəb olur.

Tezlik-seçici təhriflərin baş verdiyi kanalda belə təhriflərin azaldılması məqsədilə görülmüş müxtəlif tədbirlər sırasında aşağıdakıları göstərmək olar:

**1. Ekvalayzerdən istifadə edilməsi.** Bu məqsədlə həlletmə üzrə əks rəbitəli ekvalayzerlərdən və ardıcılığın maksimal oxşarlıq prinsipi üzrə qiymətləndirilməsi əsasında olan ekvalayzerlərdən istifadə oluna bilər [5].

Həlletmə üzrə əks rəbitəli ekvalayzerlərdə hər simvolun enerjisinin koherent toplanması həyata keçirilir. Burada əvvəlki simvollardan qalan enerji silinir, sonrakı simvolların yaratdığı simvollararası interferensiya məhsulları qiymətləndirilərək çıxılır.

Ardıcılığın maksimal oxşarlıq prinsipi üzrə qiymətləndirilməsi əsasında olan ekvalayzerlər (Viterbi ekvalayzerləri) bütün verilənlər ardıcılığından ən çox ehtimal olunanı seçir. Bunun üçün o, bütün mümkün ardıcılıqları yoxlayır, yüksək maneədayanılığını təmin edir [5].

**2. Spektrin genişləndirilməsi.** Spektrin genişləndirilməsinin iki metodundan biri işlədilərək bilər: birbaşa ardıcılıq metodu üzrə və tezliyin sıçrayışla dəyişdirilməsi metodu ilə. Birbaşa ardıcılıq metodu üzrə spektrin genişləndirilməsi zamanı maneələrin süzülməsi həyata keçirilir. Bu zaman həm də simvollararası interferensiya məhsulları süzülür ki, bu da onların səviyyəsini minimuma endirməyə imkan verir.

Tezliyin sıçrayışla dəyişdirilməsi metodu ilə spektrin genişləndirilməsi zamanı tezliyin sıçrayış sürəti simvol sürətindən az olmamalıdır. Radiovericinin daşıyıcı tezlik zolağının dəyişməsilə maneələr baş vermir, çünki radioqəbuledicinin tezlik zolağının dəyişməsi çoxşüalı siqnal daxil oluncaya qədər baş verir.

**3. OFDM tipli çoxtezlikli modulyasiyanın tətbiqi.** Bu modulyasiyada tezlik alt-daşıyıcılarının sayı həddindən artıq çoxdur və ona görə də simvolların davam etmə müddətini artırmaq mümkün olur. Baxılan şəbəkələrdə tətbiq olunan LMDS sistemində OFDM modulyasiyasının işlədilməsi tezlik-seçici sönmələrin müəyyən qədər azaldılmasına imkan verir [6, 10].

**4. Pilot-siqnalın istifadə olunması.** Bu siqnalın istifadə etməklə koherent detektorlama həyata keçirilə bilər. Pilot-siqnal kanalın vəziyyəti haqqında məlumat verməklə məlumatın canlandırma dəqiqliyinin artırılmasına kömək edir [5, 9].

Cədvəldən həm də aydın olur ki, BS-lərin radiovericilərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan topoloji maneələr mühüm əhəmiyyət kəsb etdiyindən, onların da azaldılması istiqamətində elmi-texniki tədbirlər həyata keçirilməlidir. BS-in koordinatlarının və onlardakı radiovericilərin güclərinin düzgün seçilməsi, tənzimlənməsi, modulyasiya üsulunun seçilməsi və lazım gəldikdə dəyişdirilməsi kimi məsələlər də həlli vacib olan məsələlərdir.

Baxılan interaktiv sistemlərdə əks rəbitə dövrəsindən istifadə etməklə sistemin buraxma qabiliyyətini və onunla bağlı olan digər mühüm parametrləri idarə etmək olar. Belə mühüm parametrlər sırasına sistemin energetik effektivliyi daxildir.

Kodlama ilə energetik effektivlik arasında əlaqəni araşdırmaq maraqlıdır və yalnız küylərin təsiri nəzərə alınan kanalda bu əlaqənin araşdırılması daha sadədir. Küylərin  $P_N$  gücünü və siqnal daşıyıcısının  $P_d$  gücünü əsas götürərək. Maneədayanılıq kodlama zamanı məlumatın real veriliş sürəti aşağı düşür (şəkil). Çünki bu zaman

siqnalın tərkibində məlumat simvolları ilə yanaşı yoxlayıcı simvollar da verilir. Lakin sistemin maneədayanılıqlığı artır. Bu artım işlədilən maneədayanlıqlı (korreksiyaedici) kodun korreksiya qabiliyyətindən, bu isə öz növbəsində kod məsafəsindən asılı olur. Bundan başqa kodun xüsusiyyəti də rol oynayır, bəzi kodlar həm də səhvlərin dekorrelyasiyasını həyata keçirir. Məlumdur ki, rabitə sistemlərində adətən səhvlər paket formasında baş verir. Eyni zamanda səhvlərin dekorrelyasiyasını və korreksiyasını həyata keçirən kodlar daha böyük maneədayanlıqlığı təmin edə bilər.

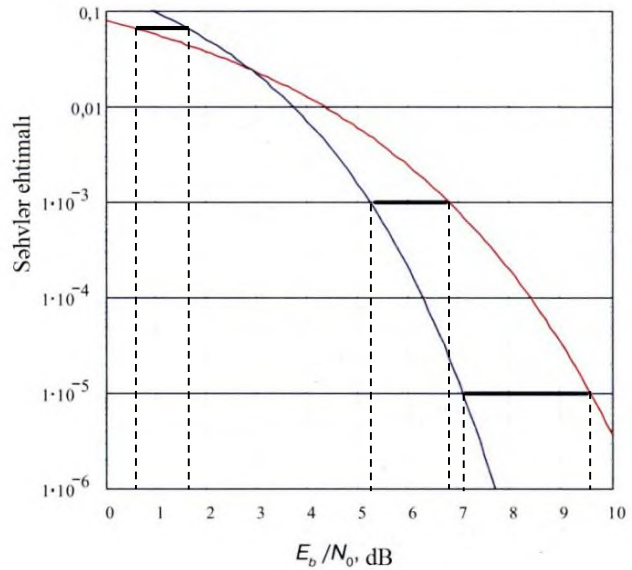
Rəqəmli selin  $R_{RS}$  ilkin veriliş sürəti sabit qalarsa, onda informasiya simvollarının  $R_{inf}$  veriliş sürəti  $R$  kod sürəti dəfə azalır. Ona görə də informasiya simvollarının veriliş sürətini əvvəlki kimi saxlamaq üçün ya spektr kod sürəti dəfə artırılmalı, ya da M-QAM modulyasiyasının mövqelər sayı artırılmalıdır. Telekommunikasiya nəzəriyyəsində bunun dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kodlamanın energetik qazancı (üstünlüyü) (KEQ) və ya məhsuldarlıq qazancı anlayışlarından istifadə edilir.

Baxılan kanalda maneədayanlıqlı kodlama tətbiq edildikdə aşağıdakı məlum ifadədən istifadə edilir [2]:

$$\frac{P_d}{P_N} = \frac{E_b}{N_0} - 10 \lg \frac{1}{R}.$$

Burada  $\frac{P_d}{P_N}$  və  $\frac{E_b}{N_0}$  nisbətləri dB ilə ifadə olunmuşdur.

Şəkildən görüldüyü kimi maneədayanlıqlı kodlama tətbiq olunduqda  $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$  səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə  $E_b / N_0$  nisbətinin 2,5 dB az qiymətində,  $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$  səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. Digər tərəfdən, səhvlər ehtimalı  $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$  qiymətində  $E_b / N_0$  nisbətinin tələb olunan qiyməti maneədayanlıqlı kodlama tətbiq olunduqda 1 dB artıqdır. Bu onunla izah olunur ki, çox kiçik  $E_b / N_0$  nisbətində səhvlər ehtimalı artaraq  $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$  və daha yüksək olur.  $E_b / N_0$  nisbətinin çox kiçik olması bitin enerjisinin küyün intensivliyinə (küyün vahid tezlik zolağına düşən gücünə) yaxınlaşması kimi qəbul olunmalıdır. Telekommunikasiya nəzəriyyəsində elektrik sistemi və dövrlərin analizi üçün ideal olaraq sabit intensivlikli normal paylanma qanunu ilə müəyyən olunan “Ağ” Qauss küyündən geniş istifadə olunur [2]. Lakin praktikada küyün intensivliyi ən yuxarı tezliklərə qədər tam sabit olmur, ən yuxarı tezliklərdə küyün intensivliyi tədricən bir



nisbətindən asılılığı:

- 1 – maneədayanlıqlı kodlama tətbiq olunduqda;
- 2 – maneədayanlıqlı kodlama olmadan

qədər azalmağa başlayır. Hər iki halda  $E_b / N_0$  nisbətinin çox azalmasını bitin enerjisinin azalması kimi qəbul edirik. Bu enerjinin küylər səviyyəsinə qədər azalması zamanı maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi ilə bitin enerjisi daha da azalır (ümumi güc informasiya və yoxlayıcı simvollar arasında paylanır) və ona görə də bu zaman maneədayanıqlı kodlama effektiv olmur.

**Nəticə.** Çoxkanallı TV yaym sistemlərində qeyri-xətti təhriflər tranzistordakı fiziki proseslər nəticəsində yaranır. Bu qeyri-xətti təhrifləri yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Onları aradan qaldırmaq üçün korreksiya sxemlərindən istifadə etmək, gücləndiricinin iş rejimini düzgün seçmək lazım gəlir.

TV yaym sistemlərində energetik effektivliyin dəqiq qiymətləndirilməsi üçün kodlamanın energetik qazancı anlayışlarından istifadə edilməsi məqsəduyğundur. Maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda  $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$  səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə  $E_b / N_0$  nisbətinin 2,5 dB az qiymətində,  $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$  səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər.  $E_b / N_0$  nisbətinin çox kiçik olması ilə bitin enerjisi küyün intensivliyinə yaxınlaşır və maneədayanıqlı kodlamanın tətbiqi müsbət effekt vermir. Bu halda maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının  $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$  qiymətində  $E_b / N_0$  nisbətinin tələb olunan qiyməti kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə 1 dB artıq olur.

#### **Ədəbiyyat siyahısı**

1. Шинаков, Ю.С. Управление мощностью в сотовых системах связи с кодовым разделением каналов // – Москва: Электросвязь, –2001, № 2, – с.8 – 11.
2. Hakegard, J.E. Coding and Modulation for LMDS and Analysis of the LMDS Channels // – New York: Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, – 2000, Vol. 105, № 5, – pp. 721-734.
3. Hu, D., He, L., Wang, X. An Efficient Pilot Design Method for OFDM-Based Cognitive Radio Systems // – New York: IEEE Transactions on Wireless Communications. – 2011, v. 10, April, N 4, pp. 1252-1259.
4. Maham, B., Tirkkonen, O., Hjørungnes, A. Impact of Transceiver I/Q Imbalance on Transmit Diversity of Beamforming OFDM Systems // – New York: IEEE Transactions on Communications, – 2012, v. 60, March, N 3, pp. 643 – 648.
5. Зубарев Ю.Б., Кривошеев М.И., Красносельский И.Н. Цифровое телевизионное вещание. Основы, методы, системы // Москва: НИИР, 2001. – 568 с.
6. Мамедов И.Р., Эфендиев И.Д. Многоканальное телевизионное вещание: Формирование, передача и описание сигнала // Труды 23-й Международной НТК «Современные телевидение и радиоэлектроника», – Москва. – 2015, – с. 37-40.
7. Мамедов И.Р., Эфендиев И.Д. О соотношениях между мощностью, количеством позиций M-QAM и верностью передачи в системах широкополосного радиодоступа // – Москва: Т-Comm. – 2017, № 12, – с. 27-31.
8. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ // – Москва: Издательский дом «Вильямс», – 2003, –1104 с.
9. Zhang, Y., Letaief, K. Cross-Layer Adaptive Resource Management for Wireless Packet Networks With OFDM Signaling // – New York: IEEE Transactions on Wireless Communications, – 2006, v. 5, November, N 11, – pp 3244-3254.
10. Sanches-Garsia, J., Smith, D. Capture Probability in Rician Fading Channels with Power Control in the Transmitters // – New York: IEEE trans. On Communications, – 2002, v.50, N 12, – pp.1889 - 1891.

*I.R.Mamedov, E.I.Muradzade*

**Определение энергетического выигрыша кодирования  
в системах интерактивного телевидения**

*Резюме*

Приведены основные параметры многоканальных телевизионных систем типа LMDS и MVDS, в которых применяется интерактивность. Показаны преимущества и недостатки сетей широкополосного радиодоступа, где применяются эти системы. Отмечены переходные помехи, вызванные нелинейными процессами, происходящими в активном элементе усилителя, возникновения переменного условия многолучевого приема из-за различных эффектов и отраженных волн, а также возникновение частотно-селективные замирания из-за изменения погодных условий при распространении радиоволн, показаны общие пути устранения этих недостатков.

Установлена зависимость вероятности ошибки от отношения сигнал/шум, для точной оценки энергетической эффективности использована величина энергетического выигрыша кодирования. Для выбранной вероятности ошибок рассчитано снижение требуемого значения отношения сигнал/шум при применении помехоустойчивого кодирования в канале, где учитывается только влияние шума.

*I.R.Mamedov, E.I.Muradzadeh*

**Determining the Coding Energy Gain in Interactive Television Systems**

*Abstract*

The main parameters of multi-channel television systems such as LMDS and MVDS, in which interactivity is used, are given. The advantages and disadvantages of broadband radio access networks, where these systems are used are shown. Crosstalk caused by nonlinear processes occurring in the active element of the amplifier, variable multipath conditions due to various effects and reflected waves, as well as the occurrence of frequency-selective fading due to changes in weather conditions during the propagation of radio waves are noted, general ways to eliminate these shortcomings are shown.

The dependence of the error probability on the signal-to-noise ratio is established, and the value of the coding energy gain is used to accurately estimate the energy efficiency. For the chosen equal error probability, the decrease in the required value of the signal-to-noise ratio is calculated, when using error-correcting coding in the channel, where only the effect of noise is taken into account.

---