

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

İDARƏETMƏNİN TƏTBİQİ YOLU İLƏ İNTERAKTİV TELEVİZİYA YAYIM SİSTEMLƏRİNİN BURAXMA QABİLİYYƏTİNİN ARTIRILMASI

İxtisas: 3337.01 – İnformasiya-ölçmə və idarəetmə
sistemləri (sahələr üzrə)

Elm sahəsi: Texnika elmləri

İddiaçı: **Elvin İlqar oğlu Muradzadə**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

BAKI-2024

Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər: texnika elmləri doktoru,
professor **İsa Rəhman oğlu Məmmədov**

Rəsmi AMEA-nın həqiqi üzvü, texnika elmləri doktoru,
opponentlər: professor **Əli Məmməd oğlu Abbasov**

texnika elmləri doktoru,
professor **Xəqani İmran oğlu Abdullayev**

texnika elmləri namizədi,
Mikayıl Hübət oğlu Abbasov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya Şurasının sədri:
texnika elmləri doktoru, professor

_____ **N.A. Yusifbəyli**

Dissertasiya Şurasının elmi katibi:
texnika elmləri namizədi, dosent

_____ **V.Q. Fərhadov**

Elmi seminarın sədri:
texnika elmləri doktoru, dosent

_____ **M.M. İsayev**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi. Hər bir rabitə və ya yayım sisteminin buraxma qabiliyyəti onun çox vacib parametrlərindən biri olmaqla sistemin digər mühüm parametrləri ilə sıx qarşılıqlı əlaqədədir. Siqnal/maneə nisbəti, məlumatın ötürülmə dəqiqliyi, spektral, energetiki və informasiya effektivlikləri rabitə və ya yayım sistemlərinin mühüm parametrləri olmaqla onun buraxma qabiliyyəti ilə müəyyən olunur. Dünya ölkələrində hazırda yerüstü interaktiv televiziya (TV) yayımı və paylayıcı şəbəkəsində öz yüksək sürəti və xidmətlərin yüksək inteqrasiyası ilə seçilən şanvari rabitə sistemlərindən geniş istifadə olunur. Bu tip sistemlərin tətbiqi zamanı qarşıya çıxan problemlər göstərir ki, onların parametrlərinin yaxşılaşdırılması istiqamətində elmi tədqiqatların aparılmasına ehtiyac vardır. Tədqiqatlar göstərir ki, parametrlərin düzgün seçilməsi və bu parametrlərin istismar müddəti ərzində operativ olaraq tənzimlənməsi daha yüksək nəticələr almağa imkan verir. İnteraktivliyin tətbiqi parametrlərin operativ tənzimlənməsi nöqtəyi nəzərdən çox əhəmiyyətlidir. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin birbaşa və əks kanallarında radiovericilərin güclərinin uyğun şəkildə seçilməsi və iş prosesində tənzim olunmasının böyük əhəmiyyəti vardır.

Rabitə nəzəriyyəsində müxtəlif idarəetmə sistemlərindən istifadə olunmaqdadır. Bu sistemlərin vəzifəsi, iş rejimi, sxematik quruluşu, effektivliyi və digər parametrləri müvafiq elmi ədəbiyyatlarda geniş şəkildə araşdırılmışdır. Onların sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində tətbiqi parametrlərin yaxşılaşdırılmasına imkan verəcəkdir. «Axırıncı mil» rabitəsinin təmin olunması üçün çoxkanallı yerüstü TV yayımı və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsində tətbiq olunmuş LMDS (Local Multipoint Distribution System – Lokal çoxnöqtəli paylayıcı sistem) və MMDS (Multipoint Video Distribution System – Çoxnöqtəli video paylayıcı sistem) tipli sistemlərdə interaktivlikdən istifadə olunmuşdur. Onların ədəbiyyatlarda verilmiş üstünlükləri, başqa

çoxkanallı rabitə sistemləri ilə yanaşı, yerüstü çoxkanallı TV yayım və paylayıcı şəbəkəsində də geniş istifadə olunmasına səbəb olmuşdur. Bundan başqa, sadə yerüstü rəqəmsal TV yayım sistemlərinin bəzilərində də (məs., ISDB-T – Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial – İnteqral xidmətli rəqəmli yayım – Yerüstü) bir istiqamətli və iki istiqamətli interaktivlikdən istifadə olunur. Bu interaktivlikdən istifadə etməklə baxılan sistemlərin parametrlərinin idarə olunması qarşıda duran məsələdir. Tədqiqatlar göstərir ki, bu halda adı çəkilən sistemlərin keyfiyyət göstəricilərində ciddi müsbət nəticələr nail olmaq imkanı yaranır. Bu, xüsusən sistemin buraxma qabiliyyəti və onunla bağlı olan parametrlərə aiddir.

Bu qeyd olunanları əsas tutaraq əminliklə qeyd etmək olar ki, dissertasiyanın mövzusu **aktualdır**.

Tədqiqatın obyektı və predmeti. Dissertasiya işində tədqiqatın obyektı yerüstü interaktiv TV yayım və paylayıcı şəbəkəsidir. Tədqiqatın predmeti yerüstü interaktiv TV yayım və paylayıcı şəbəkəsinin buraxma qabiliyyətinin artırılmasıdır.

Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri. Dissertasiya işinin məqsədi yerüstü interaktiv TV yayım və paylayıcı şəbəkəsində idarəetmənin tətbiqi yolu ilə buraxma qabiliyyətinin artırılmasıdır.

Bu məqsədin həyata keçirilməsi üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuş və həll olunmuşdur:

- interaktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində interaktivliyin tətbiqi və bundan istifadə etməklə parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi həyata keçirilmişdir;

- sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin istifadəsi zamanı yaranan əsas problemlər, onların mənbələri və yaranma səbəbləri, buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəblər üzə çıxarılmış, onların aradan qaldırılması yolları müəyyən edilmiş, interaktiv sadə və çoxkanallı LMDS və MVDS (Multipoint Video Distribution System – Çoxnöqtəli video paylayıcı sistem) sistemlərinin əsas keyfiyyət parametrləri, sistemlərin xarakteristik xüsusiyyətləri, əsas üstünlükləri, nöqsanları və tətbiqi zamanı yaranan

elmi-texniki problemlər araşdırılmış, həmin elmi-texniki problemlər arasından ən vacib olanları seçilmiş və onların həllinin ümumi yolları göstərilmişdir;

- yerüstü çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərində yaranan problemlərə səbəb olan qeyri-xətti effektlərin aradan qaldırılması üçün tətbiq olunan metod və vasitələr tədqiq olunmuşdur;

- sistemin energetiki effektivliyinin spektral effektivlikdən asılılığı çıxarılmış və göstərilmişdir ki, spektral effektivliyin artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Naykvist zolağından istifadə etməklə TV yayım sisteminin spektrindən tam istifadə edilməsinin mümkünlüyü isbat olunmuşdur;

- sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə maneədayanıqlığının artırılması tədqiq olunmuşdur;

- stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması, signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunması və əldə olunan digər müsbət effektlər müəyyən olunmuşdur;

- radioqəbuledicinin hələtmə qurğusunda qəbul olunmuş impulsların tanınması məsələləri tədqiq olunmuş, spektri kosinuskvadratik formada kəsilən impulslarda takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi zamanı səhvlərin baş verməsi şərtləri müəyyən olunmuşdur;

- QAM modulyasiyasının mövqelər sayının idarə olunması hesabına dispersiya vuruğunun eyni bir qiymətində DVB-T2 sistemində dayanıqlı qəbul müddətinin və buraxma qabiliyyətinin artımı təyin olunmuşdur;

- interaktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərində rəqəmsal signal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsi zamanı “göz” diaqramının naxışlarının formalaşmasının sönmə əmsalının qiymətindən asılılığı təhlil olunmuşdur;

- additiv “ağ” Qauss küylərinin təsiri nəzərə alınmaqla kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin keyfiyyətinə təsiri təcrübə olaraq açıq traslar üzrə yoxlanılması həyata keçirilmişdir.

Tədqiqat metodları. Dissertasiya işində tədqiqat metodları olaraq həm nəzəri, həm də praktiki metodlar geniş tətbiq edilmişdir.

Nəzəri tədqiqatlarda siqnalların optimal radioqəbulu nəzəriyyəindən, ehtimallar nəzəriyyəindən, riyazi statistikadan, siqnalların analoq-rəqəm çevrilməsi prosesində siqnalın rəqəmli emalından, təsadüfi proseslərin riyazi çevrilməsi nəzəriyyəindən, sıçrayışlar nəzəriyyəindən, diferensial və integral hesabından istifadə olunmuşdur.

Dissertasiya işində alınmış nəzəri nəticələrin praktiki yoxlanılması üçün yerüstü TV yayım və TV proqramlarının paylayıcı şəbəkəsi kimi kabel TV-nin Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisindəki paylayıcı şəbəkəsi seçilmiş və elmi-praktiki tədqiqatlar yerinə yetirilmişdir. Adı çəkilən paylayıcı şəbəkə olaraq kabel yayımçısı operatoru kimi fəaliyyət göstərən «Connect TV» şirkətinin qurduğu şəbəkədən istifadə edilmişdir. Bu şəbəkə üzrə siqnal mənbəyi olaraq baş stansiya – Bakı Teleqülləsində yerləşdirilmiş LMDS stansiyası, retranslyator kimi Zığ ərazisində yerləşdirilmiş “buster” stansiyası seçilmiş və tədqiq olunmuşdur.

Nəticələrin dürüslüyünün təkrar yoxlanılması və digər müəlliflər tərəfindən əldə olunan nəticələrlə müqayisə olunması üçün ədədi hesablamalar və istehsalat sınaqları aparılmışdır.

Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar. Müdafiəyə əsasən aşağıdakı müddəalar çıxarılır:

1. İnteraktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi üsulu.

2. Naykvist zolağında TV yayım sisteminin spektrindən tam istifadə edilməsinin mümkünlüyü, sistemin energetiki effektivliyinin spektral effektivlikdən asılılığı.

3. Sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sisteminlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə maneədayanılıqlığının artırılması.

4. Radioqəbuledicinin hələtmə qurğusunda qəbul olunmuş spektri kosinus-kvadratik formada kəsilən impulsların tanınması

zamanı takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi nəticəsində səhvlərin baş verməsi şərtləri.

5. QAM modulyasiyasının mövqelər sayının idarə olunması hesabına dispersiya vuruğunun eyni bir qiymətində DVB-T2 sistemində dayanıqlı qəbul müddətinin və buraxma qabiliyyətinin artırılması.

6. İnteraktiv yerüstü sadə və çoxkanallı TV yayım sistemlərində rəqəmsal siqnal ardıcılığının TV yayım kanalı ilə verilməsi zamanı “göz” diaqramının açılmasına görə sönmə əmsalının qiymətinin təcrübi olaraq seçilməsi.

7. Additiv “ağ” Qauss küylərinin də təsiri nəzərə alınmaqla, kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin keyfiyyətinə təsirinin açıq traslar üzrə təcrübi olaraq qiymətləndirilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi. Qoyulmuş məsələlərin həlli zamanı yeniliyi ilə fərqlənən əsasən aşağıdakı nəticələr alınmışdır:

1. İnteraktiv sadə və çoxkanallı yerüstü TV yayım sistemlərində interaktivlikdən istifadə etməklə parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi yolu ilə sistemin buraxma qabiliyyəti, texniki effektivlikləri və digər parametrlər arasında kompromisin seçilməsi həyata keçirilmişdir.

2. Sadə və çoxkanallı interaktiv TV yayım sisteminlərinin əks kanalında müxtəlif qəbul şəraitlərində optimal və suboptimal radioqəbul metodlarının tətbiqi ilə sistemin maneədayanıqlığının artırılmasına nail olunmuşdur.

3. Stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması, siqnal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunması həyata keçirilmişdir.

4. Radioqəbuledicinin həlletmə qurğusunda qəbul olunmuş spektri kosinus-kvadratik formada kəsilən impulsların tanınması zamanı takt anlarının deterministik və stoxastik dəyişməsi nəticəsində səhvlərin baş verməsi şərtləri müəyyən olunmuşdur.

5. QAM modulyasiyasının mövqelər sayının idarə olunması hesabına dispersiya vuruğunun eyni bir qiymətində DVB-T2 sistemində dayanıqlı qəbul müddətinin və buraxma qabiliyyətinin artması təmin olunmuşdur.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti. İşin praktiki əhəmiyyəti aşağıda göstərildiyi kimidir:

1. TV yayım və kabel TV-nin efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkəsində stoxastik tənzimləmənin tətbiqi göstərilən şəbəkələrdə parametrlərinin uyğun ilkin qiymətlərini seçməyə, iş prosesində onları tənzimləməyə imkan verir.

2. Radiovericilərinin kanallar üzrə güclərinin tənzimlənməsi nəticəsində baza stansiyasının (BS) yaratdığı spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış olur.

3. Stoxastik tənzimləmənin tətbiqi və bunun nəticəsində gücün tənzim olunması baxılan interaktiv sistemlərin birbaşa kanalında maneələrin minimuma endirilməsinə, signal/maneə nisbətinin tələb olunan qiymətinin təmin olunmasına imkan verir.

Dissertasiya işinin nəticələri Bakı şəhəri və Abşeron yarımadası ərazisində kabel TV-nin efir-kabel tipli paylayıcı şəbəkəsində öz tətbiqini tapmışdır.

Şəxsi töhfəsi. Dissertasiya işində alınmış nəticələr iddiaçının özünə məxsusdur. Dissertasiyanın əsas nəticələri ölkəmizin və xarici ölkələrin elmi-texniki nəşrlərində müəllif tərəfindən çap olunmuş elmi məqalələrdə öz əksini tapmışdır.

İşin aprobasiyası. Dissertasiya işinin əsas elmi və praktiki nəticələri mütəmadi olaraq Azərbaycan Respublikasının elmi-texniki konfranslarında (Bakı şəh., 2019, 2020, 2021, 2023 və 2024-cü illər), Beynəlxalq elmi-texniki konfranslarda (Kalininqrad şəh., 2021, Antalya şəh. 2022-ci illər), Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetinin professor-müəllim heyətinin seminarlarında (2019...2024-cü illər) məruzə və müzakirə olunmuşdur.

Əsərləri. Dissertasiya işinin əsas nəticələri on yeddi elmi işdə öz əksini tapmışdır. Onlardan onu Azərbaycan Respublikasının elmi nəşrlərində çap olunmuş məqalələr, biri “Towards Industry 5.0: Selected Papers from ISPR2022” jurnalında (Vyana şəh.), biri “International Journal of Microwave and Optical Technology” (ABŞ, Nevada ştatı), biri “Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов” (Moskva şəh.), biri “Наука, техника и образование” (Moskva şəh.) jurnallarında çap olunmuş elmi

məqalələr, üçü isə Beynəlxalq və Azərbaycan Respublikasının elmi-texniki konfranslarının materiallarıdır.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilat. Dissertasiya işi Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universitetində yerinə yetirilmişdir.

İşin strukturu və həcmi. Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticələr, istifadə olunmuş ədəbiyyatlar siyahısı, əsas şərti işarələmələr və əlavələr olmaqla A4 formatlı 176 səhifə kompüter mətnindən ibarət olub, özündə 33 şəkil, 9 cədvəl, 158 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısı və 2 əlavəni özündə birləşdirir. Giriş A4 formatlı 12 səhifə (işarələrin sayı 22 315), I fəsil 37 səhifə (işarələrin sayı 50 294), II fəsil 43 səhifə (işarələrin sayı 64 689), III fəsil 28 səhifə (işarələrin sayı 42 827), IV fəsil 20 səhifə (işarələrin sayı 27 930), nəticə 4 səhifə (6 302 işarə), əsas şərti işarələmələr 3 səhifə (3024 işarə) olmaqla ümumilikdə dissertasiyanın əsas hissəsinin ümumi həcmi 147 səhifə (217 381 işarə) təşkil edir.

DİSSERTASIYANIN QISA MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, problemin nə yerdə olması analiz olunmuş, işin məqsədi və həll olunan məsələlər, dissertasiyada alınan əsas elmi nəticələr, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar göstərilmiş, işin praktiki əhəmiyyəti müəyyən olunmuş, çap olunmuş elmi məqalələr, işin aprobasiyası və dissertasiyanın strukturu haqqında məlumat verilmişdir.

Dissertasiyanın “İnteraktiv televiziya yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyətinin artırılması metodlarının kritik analizi” adlı **birinci fəslə** interaktiv sadə və çoxkanallı yerüstü rəqəmli TV yayım sistemlərinin arxitekturasının təhlilinə və müqayisəsinə, hər birinin üstünlüklərinin və nöqsanlarının aşkar olunmasına, interaktivliyin tətbiqi nəticəsində parametrlərin ölçülməsi və operativ olaraq tənzimlənməsi imkanlarının araşdırılmasına, interaktiv TV yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və texniki effektivlikləri arasındakı asılılıqların müəyyən edilməsinə, interaktiv TV yayım sistemlərində parametrlər arasında kompromisin seçilməsinə həsr olunmuşdur.

Bu fəsildə əsas məqsəd sadə və çoxkanallı interaktiv rəqəmli TV yayım sistemlərin geniş tətbiqi zamanı qarşıya çıxan əsas elmi-texniki problemləri üzə çıxarmaq, onların yaranma səbəblərini araşdırmaq, buraxma qabiliyyətini məhdudlayan səbəbləri aşkar etmək, onların analizini aparmaq, aradan qaldırılması yollarını müəyyən etmək, problemlərdən ən vacib olanlarını önə çəkmək, dissertasiyanın sonrakı fəsilərində həll olunacaq məsələləri təyin etmək, adekvat riyazi aparatın seçilməsi məsələsini həll etməkdən ibarətdir. Bu məqsədlə interaktiv çoxkanallı LMDS və MVDS sistemlərinin əsas göstəriciləri və keyfiyyət parametrləri arasında qarşılıqlı əlaqə təhlil olunmuş, sistemlərin xarakteristik xüsusiyyətləri, üstünlükləri, nöqsanları və tətbiqi problemləri araşdırılmışdır.

İnteraktiv yayım sistemlərinin buraxma qabiliyyəti və texniki effektivlikləri arasında qarşılıqlı əlaqələr və bu əlaqələri əks etdirən analitik ifadələr verilmiş, müxtəlif modulyasiyalar üçün energetiki effektivliklə spektral effektivlik arasındakı asılılıqlar Şennon həddi ilə müqayisə olunmuşdur.

Çoxkanallı interaktiv şanvari TV yayım şəbəkəsinin buraxma qabiliyyətinin artırılmasının ümumi yolları göstərilmişdir. TV yayım şəbəkəsində tətbiq olunan LMDS və MVDS sistemlərinin parametrlərini, üstünlüklərini, nöqsanlarını və onların buraxma qabiliyyətinin artırılması imkanlarını bilmək vacibdir. Onların müqayisəsindən aydın olur ki, bu iki sistem bir-birinə oxşar olsalar da, onların işçi tezlik diapazonu, tezlik zolağının eni və xidmət zonasının (sotun) radiusu arasında müəyyən fərqlər də vardır.

Səhvlər ehtimalının sabit saxlanması üçün signal/küy nisbətinə görə modulyasiya üsulunun seçilməsi və dəyişdirilməsi müvafiq elmi-texniki ədəbiyyatlarda verilmişdir. Təklif olunmuş metod və sxemləri ümumiləşdirərək interaktiv yerüstü TV yayım sistemlərində modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi sxemi göstərilmişdir.

Modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi interaktiv sistemlərdə özünü doğrulda bilər. Belə sistemlərdə əks kanal üzrə kanalın vəziyyəti öyrənilərək qiymətləndirilə bilər. Bundan asılı olaraq verici tərəfdə modulyasiya üsulunun seçilməsi və dəyişdirilməsi haqqında komanda formalaşdırılır.

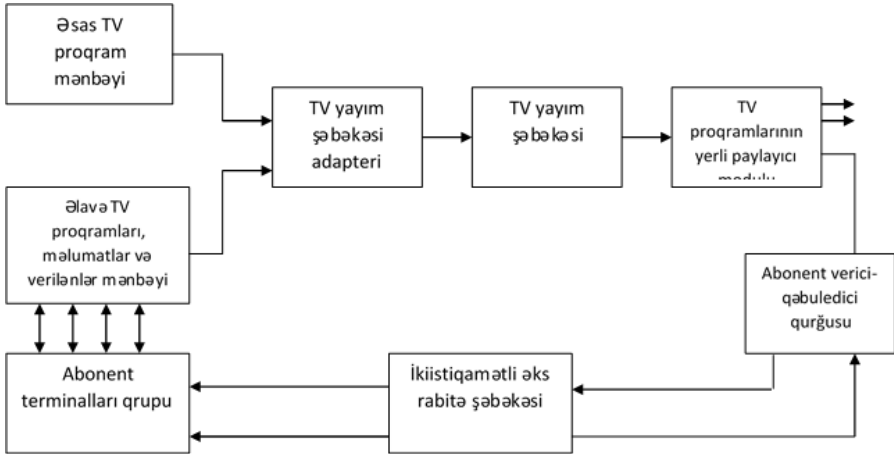
Bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətinin (E_b/N_0 nisbətinin) böyük qiymətlərində 64-QAM modulyasiyası tətbiq oluna bilər. Lakin E_b/N_0 nisbətinin azalması ilə həmin modulyasiyada səhvlər ehtimalı artır. Energetiki parametrin sonrakı azalması ilə səhvlər ehtimalı buraxıla bilən həddə çatır. Bu zaman idarəetmə sistemi modulyasiya üsulunu dəyişərək, onu məs., 16-QAM modulyasiyasına keçirir və sistemin maneədayanqlığı artır. E_b/N_0 nisbətinin sonrakı azalması ona gətirib çıxarır ki, əvvəlki proses təkrar olunur və nəhayət, QPSK modulyasiyasına keçilir.

E_b/N_0 nisbətinin minimal buraxıla bilən qiyməti tətbiq olunan modulyasiyadan və səhvlər ehtimalının tələb olunan qiymətindən asılıdır. Bundan başqa, amplitud-faza modulyasiyası tətbiq olunduqda onun mövqelərinin sayı azaldıqca, E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti kəskin azalır. Ona görə də əks rəbitənin tətbiq olunduğu sistemlərdə yerüstü çoxkanallı TV yayım və paylayıcı sistemlərində modulyasiya üsulunun kanalın vəziyyətinə uyğun olaraq dəyişdirilməsinin tətbiq olunması sistemin maneədayanqlığı baxımından çox əhəmiyyətlidir.

Dissertasiyanın “İnteraktiv yerüstü TV yayım sistemlərində qeyri-xətti effektlər nəticəsində yaranan təhriflərin azaldılması” adlı **ikinci fəsl**i sadə və çoxkanallı yerüstü rəqəmli TV yayım sistemlərinin əks kanalının arxitekturasının, buraxma qabiliyyəti və energetiki effektivliklə spektral effektivlik arasında kompromisin seçilməsinə, signalın analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan qeyri-xətti təhriflərin azaldılması metodlarının müqayisəli təhlilinə, kvantlama və məhdudlama küylərinin güclərinin nisbətinin təyininə, ifrat yüklənmə küylərinin minimal buraxıla bilən həddinin qiymətləndirilməsinə həsr olunmuşdur.

Sadə interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin struktur sxemi tərtib olunmuşdur (şəkil 1). Burada əks kanal ikiistiqamətlidir. Verici tərəfdə əsas proqram mənbəyindən başqa digər məlumat mənbələri də mövcuddur ki, tamaşaçı onlarda olan proqramları, verilənləri və b. əks kanal vasitəsilə “çağır” bilər. Bunun üçün hər bir abonent öz vericisi ilə təmin olunmalıdır.

Tərəfimizdən interaktivliyin tətbiq olunduğu LMDS və MVDS tipli çoxkanallı TV yayım sistemlərində baş verən əsas proseslər araşdırılmış, bu proseslər nəticəsində yaranan elmi-texniki problemlər müəyyən olunmuş və onların həllinin ümumi yolları göstərilmişdir (cədvəl 1).



Şəkil 1. Radio əks rəbitəli interaktiv yerüstü TV yayım sisteminin struktur sxemi

Cədvəldən görünür ki, LMDS və MVDS tipli çoxkanallı TV yayım sistemlərinin tətbiq olunduğu şanvari yerüstü genişzolaqlı radiodaxilolma şəbəkələrində ciddi problemlər yaranır.

Lakin burada baş verən qeyri-xətti təhrifləri yaradan mənbələri yox etmək mümkün olmur. Onları azaltmaq üçün korreksiya sxemlərindən istifadə etmək lazım gəlir. Bundan başqa, gücləndiricinin iş rejimini düzgün seçməklə belə qeyri-xətti təhrifləri azaltmaq mümkündür.

Tezlik-seçici təhriflərin baş verdiyi kanalda belə təhriflərin azaldılması üçün müxtəlif tədbirlər görülür. Bu tədbirlər aşağıdakılardır:

1. Ekvalayzərdən istifadə edilməsi. 2. Spektrin genişləndirilməsi. 3. OFDM tipli çoxtezlikli modulyasiyanın tətbiqi. 4. Pilot siqnal

Cədvəl 1

Yerüstü interaktiv çoxkanallı TV yayım sistemlərində olan əsas problemlərin həllinin ümumi yolları

Nö №	Problemin adı	Yaranan effekt və ya maneələr	Görülməli olan elmi-texniki tədbirlərin ilkin versiyası
1	Tezlik seçici təhriflərin yaranması	Müxtəlif alt daşıyıcı tezliklərdə sönmələrin və çökəkliklərin yaranması	OFDM modulyasiyasının tətbiqi, tezlik təşkilediciləri üzrə korreksiyalar, ekvalayzərdən istifadə, siqnalın spektrinin genişləndirilməsi, nəzarət siqnalının daxil edilməsi, daha təkmil qəbul metodlarının tətbiqi.
2	Radio dalğaların çoxşüalı yayılması	Radioqəbuledici-nin girişində siqnalın korrelyasiya pikinin dəyişməsi, amplitudun, fazanın və düşmə bucağının dəyişməsi hesabına siqnalın sönməsi.	Siqnalın gücünün artırılması, paylanmış qəbul (rake-qəbuledicilərin tətbiqi), güclənmənin avtomatik tənzimi, müdafiə intervalının artırılması hesabına radioqəbuledicinin girişinin bloklanması, genişzolaqlı siqnalardan istifadə olunması, əks olunmuş dalğaların gücündən istifadə olunması.
3	Radio-qəbuledicinin aktiv elementlərində, əsasən tranzistorlarda baş verən qeyri-xətti proseslər	Zəif siqnalların güclü siqnallarla bloklanması, amplitud-amplitud və amplitud-faza keçidləri formasında olan keçid maneələri və başqa intermodulyasiya maneələri	Korreksiya dövrlərindən istifadə olunması, rejimin seçilməsi
4	Şəbəkədəki BS-lərin sayının minimuma endirilməsi	Xidmət zonasında etibarlı qəbulun təmin edilməsi, "ölü" zonaların yaranması	"Buster"dən istifadə olunması, interaktivlikdən istifadə etməklə radiovericidə gücün tənzimlənməsi və ya modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi.

5 .	Şəbəkədə- ki BS-lərin qarşılıqlı təsiri	Sistem daxili maneələrin yaranması	Şəbəkənin düzgün tezlik-ərazi planlaması, birbaşa kanalda gücün tənzim olunması
--------	--	---------------------------------------	---

istifadə olunması.

Cədvəldən həm də aydın olur ki, BS-lərin radiovericilərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan topoloji maneələrin azaldılması üçün onların koordinatlarının və onlardakı radiovericilərin güclərinin düzgün seçilməsi, tənzimlənməsi, modulyasiya üsulunun seçilməsi və lazım gəldikdə dəyişdirilməsi kimi məsələlər də həlli vacib olan məsələlərdir.

Tərəfimizdən LMDS və MVDS sistemlərinin iş prinsipi araşdırılmış və onları xarakterizə edən əsas parametrlər üzə çıxarılmışdır (cədvəl 2). Cədvəldə bu iki sistemi xarakterizə edən əsas parametrlər verilmiş, onlar öz aralarında və ümumiyyətlə, yüksək tezliklərdə işləyən digər rabitə sistemləri ilə müqayisə olunmuşdur. Parametrlərin müqayisəsi göstərir ki, onlar arasında müəyyən oxşarlıqlar olsa da, fərqlər də mövcuddur və bu fərqlər sistemin layihələndirilməsi və tətbiqi zamanı nəzərə alınmalıdır.

Spektral effektivliyin artması energetiki effektivliyin azalmasına səbəb olur. Spektrin genişlənməsi veriliş sürətini artırmağa imkan verir, lakin küylərin səviyyəsinin artmasına, spektral effektivliyin aşağı düşməsinə səbəb olur. Ona görə də müvafiq təcrübələr vasitəsilə hər bir rabitə sistemi üçün sönmə əmsalının kompromis qiymətinin seçilməsi zərurəti yaranır.

Şəkildə səhvlər ehtimalının signal/küy nisbətindən asılılıqları verilmişdir (şəkil 2). Verilmiş qrafiklərdən istifadə edərək asanlıqla hesablamaq olar ki, maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda səhvlər ehtimalının verilmiş qiyməti E_b/N_0 nisbətindən daha kiçik qiymətlərində təmin oluna bilər. Bu, həm də tətbiq olunan modulyasiya üsulundan və korreksiyaedici kodun korreksiya qabiliyyətindən asılıdır. Şəkil 2-də 1 əyrisi faza modulyasiyası və RS kodu üçün, 2 əyrisi isə faza modulyasiyası və korreksiyaedici kod tətbiq olunmayan hal üçün qurulmuşdur.

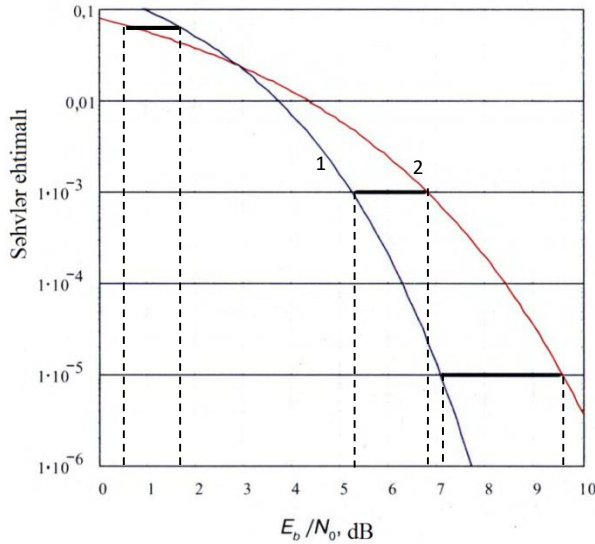
Şəkildən görünür ki, maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə E_b/N_0 nisbətinin 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətə 1,6 dB az qiymətində təmin oluna bilər. Digər tərəfdən, səhvlər ehtimalı $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ qiymətində

Cədvəl 2

LMDS və MVDS sistemlərinin əsas göstəriciləri

Nö	LMDS sistemi	MVDS sistemi
1.	İfrat yüksək tezliklərdə və Kənar yüksək tezliklərdə (27,5...31,3 QHs – sm-lik və mm-lik dalğaların böyük uzunluqlu hissəsi) işləyir.	Kənar yüksək tezliklərdə (40,2...42,5 QHs – mm-lik dalğalar) işləyir.
2.	Tezlik buraxma zolağı genişdir (1...2 QHs)	Tezlik buraxma zolağı çox genişdir (2 QHs)
3.	İkinci pillə modulyasiya kimi çoxtezlikli modulyasiya üsulu tətbiq olunur (16-QAM /QPSK)-OFDM.	QAM (kabel TV); QPSK (peyk TV) modulyasiya üsulları tətbiq olunur.
4.	Məlumatın məxfiliyi təmin oluna bilər.	Məlumatın məxfiliyi təmin oluna bilər.
5.	Veriliş sürəti kifayət qədər yüksəkdir.	Veriliş sürəti çox yüksəkdir.
6.	Naqilsiz rabitə sistemidir. Rabitə xətti kimi kabellərdən istifadə olunmaması onlara çəkilən xərclərin aradan qalxmasına səbəb olur.	Naqilsiz rabitə sistemidir. Rabitə xətti kimi kabellərdən istifadə olunmaması onlara çəkilən xərclərin aradan qalxmasına səbəb olur.
7.	Əlavə avadanlıq işlətmədən abonentlərin yerini dəyişmək olur.	Əlavə avadanlıq işlətmədən abonentlərin yerini dəyişmək olur.
8.	Şəbəkənin qurulması çox qısa zamanda yerinə yetirilə bilər.	Şəbəkənin qurulması çox qısa zamanda yerinə yetirilə bilər.
9.	Şəbəkənin qurulması ucuz başa gəlir. Böyük xərclər işlətmədən bu şəbəkə genişləndirilə və ya daraldıla bilər.	Şəbəkənin qurulması ucuz başa gəlir. Böyük xərclər işlətmədən bu şəbəkə genişləndirilə və ya daraldıla bilər.
10.	Efirdən çoxkanallı televiziya siqnallarının qəbulu mümkündür.	Efirdən çoxkanallı televiziya siqnallarının qəbulu mümkündür.
11.	Retranslyatorlardan istifadə etməklə əhatə zonası genişləndirilə bilər. Bu	Retranslyatorlardan istifadə etməklə əhatə zonası genişləndirilə

	retranslyatorlar passiv və ya aktiv ola bilər.	bilər. Bu retranslyatorlar passiv və ya aktiv ola bilər.
12.	Ekoloji cəhətdən demək olar ki, təhlükəsizdir, çünki zəif siqnalları işləyir.	Ekoloji cəhətdən təhlükəsizdir, çünki çox zəif siqnalları işləyir.



Şəkil 2. Səhvlər ehtimalının siqnal/küy nisbətindən asılılığı əsasında kodlamanın energetiki effektivliyə təsirinin təyininə dair

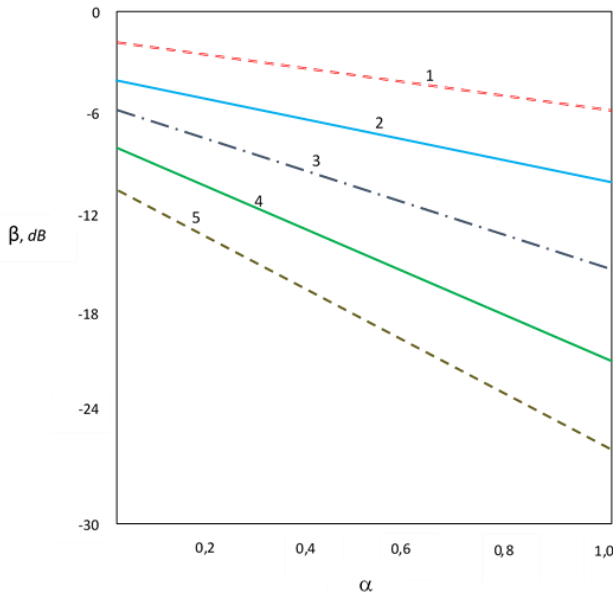
E_b/N_0 nisbətinin tələb olunan qiyməti maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda 1 dB artıqdır. Bu onunla izah olunur ki, çox kiçik E_b/N_0 nisbətində səhvlər ehtimalı artaraq $p_s = 2 \cdot 10^{-1}$ və daha yüksək olur. E_b/N_0 nisbətinin çox kiçik olması bitin enerjisinin küyün intensivliyinə yaxınlaşması kimi qəbul olunmalıdır.

Spektri kosinuskvadratik kəsilmə elementar impulslarda sönmə əmsalının qiyməti artdıqca energetiki effektivlik azalır (şəkil 3). Bu, onunla əlaqədardır ki, sönmə əmsalı artdıqca elementar impulsların

spektri daha geniş olur və ona görə də küylərin gücü artır. Bu isə siqnal/küy nisbətinin azalmasına səbəb olur.

QPSK və M-QAM modulyasiyalarında koherent qəbul şəraitində maneədayanıqlığının təmin olunması üçün siqnal/küy nisbətinin tələb olunan səviyyəsinin və məxsusi veriliş sürətinin hesablanmış qiymətləri cədvəl 3-də verilmişdir.

Cədvəldən görünür ki, gücün sabit qiymətində modulyasiya



Şək. 3. Spektral effektivliyin bit/s·Hz-lə ölçülən qiymətləri üçün energetiki effektivliyin söndürmə əmsalından asılılığı:

1. $\epsilon = 0,8$; 2. $\epsilon = 1$; 3. $\epsilon = 1,2$; 4. $\epsilon = 1,4$; 5. $\epsilon = 1,6$.

Cədvəl 3.

**Interaktiv TV yayımının əks kanalında koherent qəbul şəraitində
siqnal/küy nisbətinin və məxsusi veriliş sürətinin qiymətləri**

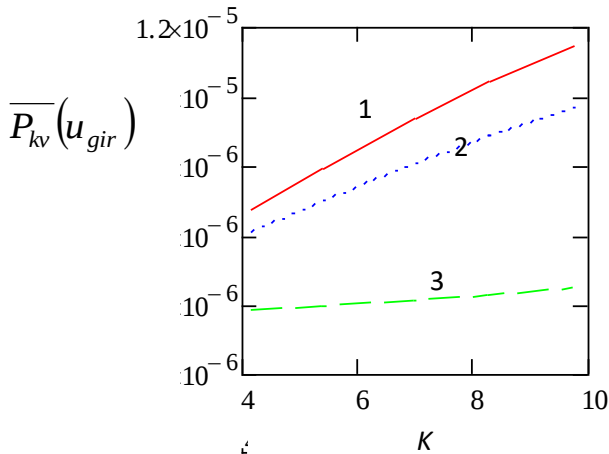
	Siqnal/küy nisbəti E_b/N_0		Məxsusi veriliş sürəti, bit.s ⁻¹ /Hz	
	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-5}$	Səhvlər ehtimalı $p=10^{-7}$	RS =3/4	RS=7/8
QPSK	9,2	12	0,93	1,09
16-QAM	13,4	16	1,87	2,18
64-QAM	18	20	2,80	3,27

üsulunun dəyişməsi maneədayanılıqlığına ciddi təsir edir. Məs., E_b/N_0 nisbəti təxminən 1,8 dəfə azaldıqda belə, eyni bir səhvlər ehtimalının $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ təmin olunması üçün gücü dəyişmədən 64-QAM modulyasiyasından QPSK-ya keçmək kifayətdir.

Müləhizələrdən aydın olur ki, sönmələr şəraitində maneədayanılıqlığının təmin olunması üçün gücün artırılması və ya veriliş sürətinin azaldılması eyni dərəcədə effektivdir. İkinci halda bu məqsədlə dərin və ya zəif sönmələrdən asılı olaraq bir modulyasiya üsulundan digərinə keçə bilərik.

Giriş siqnalının kiçik qiymətlərində kvantlanma küyləri gücünün qiyməti unipolyar müsbət TV yayım parlaqlıq siqnalı üçün müəyyən edilmişdir.

Parlaqlığın TV təsvirlərində tərs mütənasib qanunla paylandığı halda α_0 -ın müxtəlif qiymətləri üçün kvantlanma küylərinin gücünün orta qiymətinin kompressiya əmsalından asılılığı $\overline{P_{kv}}(u_{gir}) = f(K)$ çıxarılmışdır (şəkil 4). Şəkildən görünür ki, məs., $N = 256$, $K = 8$ qiymətində α_0 0,1-dən 0,3-ə qədər artdıqca, kvantlama küylərinin gücü 2,5 dəfə azalır.



Şəkil 4. Kvantlama küylərinin gücünün orta qiymətinin kompressiya əmsalından asılılığı:

1. $\alpha_0=0,1$. 2. $\alpha_0=0,2$. 3. $\alpha_0=0,3$.

Qrafiklərdən həm də aydın olur ki, kompressiya əmsalı azaldıqca, kvantlama küylərinin gücü də azalır. Lakin kompressiya əmsalının azalması ilə kvantlayıcının həlletmə qabiliyyəti azalır. Bu zaman digər küylərin təsirləri artacaqdır, çünki kvantlayıcı müəyyən səviyyəli hər hansı digər küyləri kvantlanan signal kimi “taniya” bilər.

TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanuna tabe olduğu və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduğu halda təcrübədən alınmış $\alpha_0 = 0,2$ və $a = 30$ qiymətləri üçün $\overline{P_{kv}}(u_{gir})$, $\overline{P_{mh}}(u_{gir})$ və məhdudlama küylərinin gücünün kvantlama küylərinin gücünə olan nisbətinin – $\bar{\chi}(u_{gir})$ -in qiymətlərini hesablayaraq cədvəl 4-ə yazırıq.

Cədvəldən görünür ki, məhdudlama əmsalının artmasının ilkin qiymətlərində, yəni TV yayım parlaqlıq signalının maksimal qiymətinin kvantlayıcının maksimal icazə verilən qiymətləndirmə səviyyəsindən azacıq aşması ilə məhdudlama küylərinin gücünün səviyyəsi o qədər də yüksək olmur. Lakin məhdudlama əmsalının sonrakı artımı ilə məhdudlama küylərinin gücü kəskin artır. Məhdudlama

Cədvəl 4

TV yayım parlaqlıq signalının tərs mütənəşib qanunla paylanması üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin gücləri

	$\bar{P}_{mh}(u_{gir})$	$\bar{P}_{kv}(u_{gir})$	$\bar{\chi}(u_{gir})$
$K_U=1.4;$ $N=256$	$7 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$33 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	0.21
$K_U=1.5;$ $N=256$	$77 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$33 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	2.33
$K_U=1.4;$ $N=1024$	$7 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	3.41
$K_U=1.5;$ $N=1024$	$77 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	$2,05 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	37.56

əmsalının 1,4-dən 1,5-ə qədər artması məhdudlama küylərinin gücünün 11 dəfə artmasına səbəb olur. Eyni zamanda ikili sistemdə kod sözünün uzunluğu 8-dən 10-a qədər artdıqda kvantlama küylərinin gücü 16 dəfə azalır.

Bu nəticələr TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması eksponensial düşən qanuna tabe olduğu və loqarifmik kvantlama şkalası tətbiq olunduğu hal üçün də hesablanmışdır (cədvəl 5).

Cədvəldən görünür ki, TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin eksponensial düşən paylanma qanunu üçün məhdudlama əmsalının 1,3-dən 1,4-ə qədər artması məhdudlama küylərinin gücünün 1,44 dəfə artmasına səbəb olur.

Dissertasiyanın “İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalında koherent və qeyri-koherent qəbul şəraitində maneədayanılıqlığının

təmin olunması” adlı **3-cü fəsl**i baxılan interaktiv yerüstü rəqəmli TV yayım sistemlərinin əks kanalında maneədayanıqlığının təmin olunmasına həsr olunmuşdur.

Cədvəl 5

TV yayım parlaqlıq signalının eksponensial düşən qanunla paylanması üçün kvantlama və məhdudlama küylərinin gücləri

	$\overline{P_{mh}}(u_{gir})$	$\overline{P_{kv}}(u_{gir})$	$\bar{\chi}(u_{gir})$
$K_U=1.3;$ $N=256$	$0,061 \cdot U_{maks}^2$	$2,4 \cdot 10^{-3} U_{maks}^2$	25,42
$K_U=1.4;$ $N=256$	$0,088 \cdot U_{maks}^2$	$2,4 \cdot 10^{-3} U_{maks}^2$	36,67
$K_U=1.3;$ $N=1024$	$0,061 \cdot U_{maks}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	414,97
$K_U=1.4;$ $N=1024$	$0,088 \cdot U_{maks}^2$	$1,47 \cdot 10^{-4} U_{maks}^2$	598,64

İnteraktiv yerüstü TV yayım sistemində gücün idarə olunması tətbiq olunmuşdur. Gücün tənzim olunması zamanı j -cu BS-in L kanallı radiovericisinin hər kanalı öz maksimal gücündə deyil, bu kanal üçün cari müddətdə tələb olunan gücdə işləyəcəkdir.

Tənzimləmə səviyyələrinin sayının M , BS-in radiovericisinin kanallarının sayının L olduğunu bilərək, j -cu BS-in radiovericisinin gücünü hesablaya bilərik:

$$P_j = \sum_{i=1}^L \sum_{k=1}^M P_{ji,k} p_{ji,k}, \quad (1)$$

burada $P_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının k -cı səviyyəyə uyğun gücü, $p_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının k -cı səviyyədə olması ehtimalıdır.

CDMA sistemində bu BS-in L kanallı radiovericinin qalan bütün $L-1$ kanalı l -ci kanalın signalının qəbulu zamanı maneə hesab olunmalıdır. Onda baxılan hal üçün signal/maneə nisbətini hesablaya bilərik.

Tənzimləmənin tətbiq olunduğu halda signal/maneə nisbətini hesablamaq üçün ifadə çıxarılmışdır:

$$w' = \frac{p_{jl,M}(1+\sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{jl,k} p_{jl,k0})}{\sum_{i=1}^{L-1} p_{ji,M}(1+\sum_{k=1}^{M-1} \gamma_{ji,k} p_{ji,k0})} . \quad (2)$$

Burada $p_{ji,k}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının gücünün κ -cı səviyyədə olması ehtimalı, $\gamma_{jl,k}$ – k səviyyəli gücün maksimal gücə olan nisbəti, $p_{ji,k0}$ – j -cu BS-in radiovericisinin i -ci kanalının κ -cı səviyyədə olması ehtimalının maksimal güclə işləmə ehtimalına nisbətidir.

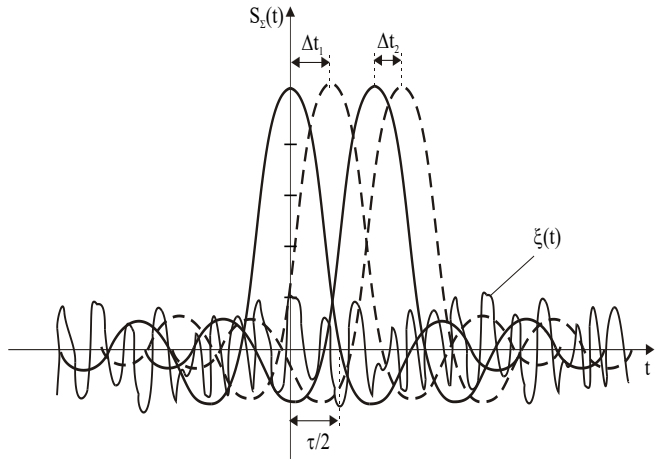
(2) ifadəsi interaktiv yerüstü TV yayım sistemində idarəetmənin tətbiqi ilə gücün idarə olunmasında signal/maneə nisbətinin artmasını birbaşa göstərmir. Əgər radiovericinin kanalları üzrə bərabər ehtimalla hər hansı k -cı səviyyəyə uyğun güc hasil olunarsa, onda signal/küy nisbəti $1/(L-1)$ -ə bərabər olacaqdır. (2) ifadəsi həm də belə nəticəyə gəlməyə imkan verir ki, gücün tənzimlənməsinin tətbiqi halında bu nisbətdə artım olmaya da bilər. Belə ki, idarəetmənin tətbiqi ilə baxılan l kanalı və digər kanallar üzrə güclərdən asılı olaraq signal/maneə nisbəti artmaya, hətta müəyyən hallarda azala da bilər. Məs., radiodalğaların fəzada yayılması zamanı baş verən sönmələrin qiymətləndirilməsi üçün seçilmiş modeldən asılı olaraq baxılan l -ci kanalın gücü kiçik, qalan kanalların böyük əksəriyyətinin gücü çox böyük, sayı isə çox ola bilər. Bu halda radioqəbuledicinin girişində signal/maneə nisbəti $1/(L-1)$ -dən kiçik ola bilər. Belə çıxır ki, ümumi halda idarəetmənin tətbiqi signal/maneə nisbətini artırmağa xidmət etmir. Lakin bu halda radioqəbuledicinin girişində tələb olunan güc təmin olunur. Deməli, BS-in radiovericisinin kanalları üzrə maksimal güc deyil, qəbul şərtlərindən asılı olaraq ümumi halda ondan kiçik güc hasil edilir. Bu isə o, deməkdir ki, radioverici bu rejimdə işlədikdə onda energetiki qazanc olacaqdır.

Simvolların həlletmə qurğusu tərəfindən stroblama metodu ilə tanınması zamanı səhvlərin baş verməsinin səbəblərindən biri də takt anlarının dəyişməsidir. Takt anlarının dəyişməsi ümumi halda, impulsların ön və arxa cəbhələrində təhriflərin (kənar təhriflərin) yaranmasına, hətta impulsların bölünməsinə səbəb olur.

Nəzəri olaraq iki ardıcıl verilən impulsda baş verən sürüşmələr müxtəlif ola bilər və ya sürüşmə yalnız bir impulsda baş verə bilər. Takt anlarının dəyişməsinə yaradan səbəblərin çoxunun təsir dərəcəsi bərabər olur. Ona görə də takt anlarının dəyişməsinin bir neçə impulsa şamil olunması və onların səviyyəsinin bərabər və ya təxminən bərabər seçilməsi praktiki nəticələrə uyğundur.

Tutaq ki, fluktuasiya küyləri fonunda ard-arda iki impuls verilir (şək. 5). Burada bütöv xətlə göstərilmiş hər iki impulsdan sonra qırıq xətlə

ilk
impulsun
sürüşməsi
nəticəsində əmələ
gəlmiş iki impuls
verilmişdir.
Qrafikdə həm də
fluktuasiya
küylərinin bir
realizasiyası $\xi(t)$
kimi göstərilmişdir.
Determinə olunmuş
proseslə təsadüfi
prosesin cəmi
təsadüfi proses
olacaqdır.



Şəkil 5. Fluktuasiya küyləri fonunda verilən iki impulsda takt anlarının sürüşməsinə dair

Bəzən mühəndis hesablamaları üçün takt anlarının qeyri-stabilliyin orta kvadratik qiymətindən istifadə olunur.

$$\tilde{\sigma}(\Delta t) \approx \sigma / S'(t_0). \quad (3)$$

Müxtəlif elementar impulsar üçün $\tilde{\sigma}(\Delta t)$ -nin qiymətləri tərəfimizdən təyin olunmuşdur. Məs., kosinuskvadratik impuls üçün tapırıq:

$$\tilde{\sigma}(\Delta t) \approx \sigma \tau / \pi. \quad (4)$$

Takt anlarının qeyri-stabilliyin bu cür təyin olunması mürəkkəb və bəzən həlli olmayan riyazi çevirmələrdən azad olmağa imkan verir.

Dissertasiyanın “İnteraktiv sadə və çoxkanallı yerüstü rəqəmli TV yayım sisteminin təcrübi olaraq qiymətləndirilməsi üçün nəqliyyat

selinin parametrlərinin və kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəricilərinin ölçülməsi” adlı **4-cü fəslə** tədqiq olunan sistemlərin parametrlərinin ölçülməsinə həsr olunmuşdur. Burada nəqliyyat selinin parametrlərinin və kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəricilərinin qiymətləndirilməsi məqsədilə müdafiə nisbətinin və TV yayım siqnallarının qəbulu dayanıqlığının interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinə, kvantlama və ifrat yüklənmə küylərinin təsvirin canalandırma keyfiyyətinə təsirlərini təyin etmək üçün təcrübi sınaqlar yerinə yetirilmiş, interaktiv TV yayımında real spektral effektivliyin artımı hesablanmışdır. Həmçinin rəqəmsal TV yayım siqnalının açıq traslarla verilməsi zamanı “göz” diaqramının naxışlarının formalaşdırılmasının təcrübi yoxlanılması həyata keçirilmişdir.

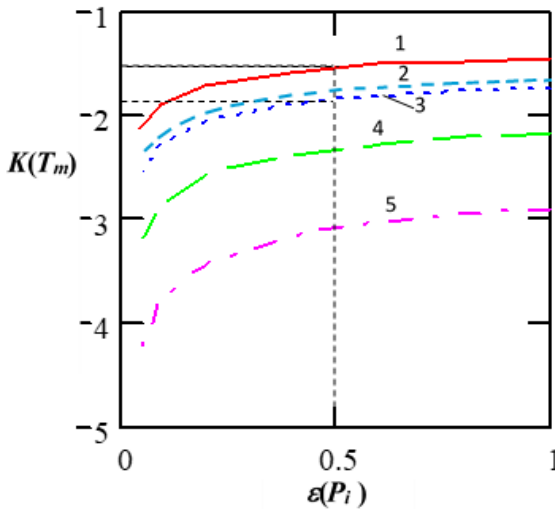
Sadə rəqəmsal interaktiv yerüstü TV yayımında real spektral effektivliyin artımının hesablanması üçün DVB-T2 sistemində mütqələrin sayının artması və daha yüksək maneədayanlığı təmin edən kodlamanın tətbiqi nəzərə alınmışdır. Hesablamalar göstərmişdir ki, sadə interaktiv yerüstü TV yayımının birbaşa kanalında E_b/N_0 nisbəti dəyişdikcə, radiovericinin gücünü dəyişmədən modulyasiya üsulunun adaptiv dəyişdirilməsi təkcə maneədayanlığının tələb olunan səviyyədə qalmasını təmin etmir. O, həm də real spektral effektivliyin orta qiymətinin artmasına səbəb olur. Çünki E_b/N_0 nisbəti kiçik olduqda real spektral effektivlik kiçik olacaq, lakin kanalın vəziyyəti yaxşılaşdıqca, bu kəmiyyət də artacaqdır. Ona görə də ümumi halda idarəetmə tətbiq olunduqda real spektral effektivlik yüksək olacaqdır.

DVB-T2 sistemində maneədayanlığını artırmaq üçün daha mürəkkəb kodlama aparılır. Burada LDPC (Low-density parity check – Cütlüyə yoxlayan aşağı sıxlıqlı) kodu ilə BÇX (Boze-Çaudhuri-Hokvenqem) kodunun birlikdə tətbiqi maneədayanlığını əhəmiyyətli dərəcədə artırmağa imkan verir. Bu zaman E_b/N_0 nisbətinin əlavə artımına ehtiyac qalmır.

Bu fəsildə yerüstü TV yayımında interaktivliyin tətbiqi ilə, xüsusən DVB-T2 sistemində spektral effektivliyin artması ədədi hesablamalarla göstərilmişdir. Həm də spektral effektivliklə vahid

tezlik zolağına düşən buraxma qabiliyyəti müqayisə olunmuşdur. Bu isə baxılan şərtlər daxilində buraxma qabiliyyətinin nə dərəcədə artmasını göstərir.

Bu fəsildə faydalı siqnalın sahə gərginliyinin E_s müxtəlif median qiymətləri üçün qəbulun dayanıqlığı parametrinin $K(T_m)$ dispersiya vuruğundan $\varepsilon(P_i)$ asılılığı qrafiklərindən istifadə etməklə interaktiv yerüstü rəqəmsal TV yayım sisteminin buraxma qabiliyyətinin dəyişməsi tədqiq olunmuşdur (şəkil 6). $K(T_m) = -1,5$



Şəkil 6. Dayanıqlıq parametrinin dispersiya vuruğundan asılılığı:

1. $E_s = 50$ dB; 2. $E_s = 51$ dB; 3. $E_s = 52$ dB; 4. $E_s = 55$ dB; 5. $E_s = 60$ dB.

qiyməti üçün dayanıqlı qəbul müddətinin $T = 95$ % olduğu müəyyən olunmuşdur. Lakin DVB-T2 sistemində yeni tip kodlamanın tətbiqini və burada müdafiə nisbətinin DVB-T-yə nəzərən nə qədər kiçik olmasını nəzərə alaraq, dispersiya vuruğunun eyni bir qiymətində təmin olunan sahə gərginliyinin yeni median qiyməti üçün $K(T_m) \approx -1,8$ olduğu hesablanmış və qəbulun dayanıqlığı parametrinin dayanıqlı qəbul müddətindən asılılığı qrafikindən istifadə etməklə dayanıqlı qəbul müddətinin artaraq $T = 97$ % olduğu təyin olunmuşdur. Bu hesablamalar kanalın vəziyyətini nəzərə almaqla QAM modulyasiyasının mövqelər sayının idarə olunması hesabına buraxma qabiliyyətinin nə dərəcədə artmasını göstərir.

DVB sisteminin keyfiyyətinin qiymətləndirilməsi üçün əsasən iki bir-birindən fərqli ölçmələr aparılır: a) nəqliyyat selinin parametrləri. b) kanal avadanlıqlarının keyfiyyət göstəriciləri. Birinci tip ölçmələr özündə BER (Bit Error Ratio), SNR (Signal to Noise Ratio) və kvadratur siqnalların keyfiyyəti kimi parametrləri ehtiva edir. Bu sistemdə keyfiyyətin azalma astanası kriteriyasından istifadə edilir. TOV – TV təsvirlərində çoxsaylı səhvlərin qiymətidir. Kvazisəhvsiz qəbul kriteriyası (QEF) tətbiq olunur. Bu halda RS dekoderinin çıxışında ən çoxu $BER = 10^{-11}$ olur. Viterbi dekoderinin çıxışında – RS dekoderinin girişində $BER=2 \cdot 10^{-4}$ -dən pis olmamalıdır.

Ölçmə aparmaq üçün məlum metodlardan və ölçmə aparılması vacib sayılan xarakterik nöqtələrin göstərildiyi sxemdən istifadə edirik.

Ölçmələr analizator vasitəsilə həyata keçirilmişdir. Yüksək tezlik çeviricisinin girişində nominal tezlik zolağında siqnalın gücü ölçülmüşdür. Küylərin gücünün ölçülməsi üçün alt daşıyıcılar söndürülmüş və analizator vasitəsilə ölçmələr yerinə yetirilmişdir.

Təcrübi olaraq tədqiq olunan kanal – Bakı-Fatmayı radiorele xətti – açıq traslar qrupuna və AAQK (Additiv Ağ Qauss Küyləri) kanalına aid edilə bilər. Radiorele xətti stansiyası olaraq “CERAGON” verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur. İterativ xarakterli seçmə üsulundan istifadə etməklə rəqəmli TV yayım sisteminin parametrlərini seçirik. Təcrübə aparılan zaman əsas parametrlərin qiymətləri seçilmişdir. Bu parametrlər sırasına veriliş sürəti, kod sürəti, müdafiə intervalı (GI – Guard Interval) daxildir.

Kvantlama küylərinin təsirini yalnız dolayısı ilə qiymətləndirmək mümkündür. E_b/N_0 və daşıyıcının gücünün küyün gücünə nisbəti P_d/P_N ölçülmüşdür. Siqnalın gücü yüksək tezlik çeviricisinin girişində ölçülmüş və nominal tezlik zolağı üzrə qiymətləndirilmişdir. Alt daşıyıcılar söndürülərək analizator vasitəsilə küylərin gücü ölçülmüşdür. Cədvəl 6-da TV yayım sisteminin parametrlərinin seçilmiş qiymətləri və ölçmə nəticəsində alınmış nəticələr verilmişdir.

Sadə interaktiv yerüstü TV yayım sistemində signal/manea nisbətinin AAQK kanalı üzrə minimal tələb olunan və təcrübədən alınmış qiymətləri

Sistemin seçilmiş parametirləri	Qiymətlən -dirmə parametri	E_b/N_0 nisbətinin qiymətləri		P_d/P_N nisbətinin qiymətləri	
		Minimal buraxıla bilən	Təcrübədən alınmış	Minimal buraxıla bilən	Təcrübədən alınmış
GI=1/32; R=5/6; $\Delta f=8$ MHz; L=512	TOV	10,3 dB	12,3 dB	14,99 dB	16,99 dB
	QEF	11,6 dB	14,1 dB	16,50 dB	18,99 dB
GI=1/32; R=5/6; $\Delta f=8$ MHz; L=64	TOV	11,4 dB	12,83 dB	16,19 dB	18,89 dB
	QEF	12,6 dB	15,05 dB	17,50 dB	19,92 dB

Cədvəldən QEF-in və TOV-nin müqayisəsindən görünür ki, TOV-nin qiyməti QEF-in minimal buraxıla bilən qiymətlərindən təxminən 1,3 dB az olmalıdır. Aparılmış təcrübələrdən bu fərqin özünə yer aldığı və göstərilən rəqəmdən bir qədər artıq olduğu aşkar olunmuşdur. Təcrübələrdən həm də kvantlamanın səviyyələrinin sayının azaldılması ilə $\frac{E_b}{N_0}$ və $\frac{P_d}{P_N}$ nisbətlərinin artdığı müşahidə edilmişdir. Belə ki, kvantlamanın səviyyələrinin 512-dən 64-ə dəyişdirilməsilə $\frac{P_d}{P_N}$ nisbəti 1,2 dB, E_b/N_0 nisbəti təxminən 0,8 dB artmışdır. Ona görə də kvantlama küylərinin təsirini birbaşa qiymətləndirə bilmirik. Lakin aparılan çoxsaylı eksperimentlər zamanı qalan bütün parametrlər dəyişməz olaraq saxlanılmışdır. Buradan belə nəticəyə gələ bilərik ki, göstərilən nisbətlərin artmasında kvantlama küylərinin payı az deyil.

Nəticələrdə dissertasiya işində alınmış əsas elmi nəticələr özünə yer almışdır. Onlardan ən əsasları aşağıdakılardır:

1. Elementar impulsar üçün sönmə əmsalının kiçik seçilməsi spektral effektivliyin öz potensial qiymətinə yaxınlaşmasına, lakin energetiki effektivliyin azalmasına, elementar impulsların davam etmə müddətinin artmasına səbəb olur. Bu halda elementar impulsların formalaşdırılması üçün daha mürəkkəb süzgeclərdən istifadə olunması tələb olunur. “Göz” diaqramından istifadə edərək TV yayımında sönmə əmsalının kompromis qiyməti olaraq $\alpha_1 = 0,15 \dots 0,35$ seçilməsi əlverişli sayıla bilər.

2. TV yayım parlaqlıq signalının səviyyəsinin paylanması tərs mütənasib qanunla ifadə olunduqda və loqarifmik kvantlama şakası tətbiq olunduqda məhdudlama əmsalının 1,3-dən 1,4-ə qədər artması ilə məhdudlama küylərinin gücü 54 dəfə artır, kod sözünün uzunluğunun 8-dən 10-a qədər artması ilə kvantlama küylərinin gücünün məhdudlama küylərinin gücünə nisbəti təxminən 17 dəfə azalır.

3. Maneədayanıqlı kodlama tətbiq olunduqda $p_s = 1 \cdot 10^{-5}$ səhvlər ehtimalı kodlama tətbiq olunmayan kanal ilə müqayisədə bitin enerjisinin küyün intensivliyinə nisbətinin E_b/N_0 2,5 dB az qiymətində, $p_s = 1 \cdot 10^{-3}$ səhvlər ehtimalı isə həmin nisbətən 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.

4. Əks kanalı şanvari prinsipə qurulmuş interaktiv yerüstü TV yayım sistemində “uzaq-yaxın” probleminin həlli üçün abonent və baza stansiyasının radiovericilərinin güclərinin tənzimlənməsinin pilot-signalın səviyyəsinə görə aparılması məqsədəuyğun hesab oluna bilər və bu zaman aşağıdakı müsbət effektlər əldə etmək mümkün ola bilər:

a) Baza stansiyasının çoxkanallı radiovericisində hər kanal üzrə maksimal güc deyil, tələb olunan güc hasil olunur.

b) Radiovericilərin kanallar üzrə güclərinin tənzimlənməsi nəticəsində baza stansiyasının yaratdığı spektrə görə toplanmış maneələrin səviyyəsi azalmış olur.

5. Dispersiya vuruğunun 0,5 qiymətində DVB-T sistemində dayanıqlı qəbul müddəti $T = 95 \%$ olduğu halda, DVB-T2 sistemində idarəetmənin tətbiqi ilə dayanıqlı qəbul müddəti artaraq $T = 97 \%$ olur. Bu artım əsasən DVB-T2 sistemində tətbiq olunan daha maneədayanıqlı kodlama və burada müdafiə nisbətinin DVB-T-yə nəzərən kiçik olması hesabına təmin olunur.

6. TV yayımında QEF-in qiyməti TOV-nin uyğun qiymətindən təxminən 1,3 dB artıq olmalıdır. Apardığımız eksperimentlər zamanı bu fərqin bir qədər artıq olduğu müşahidə olunmuşdur. Bundan başqa, kvantlamanın qiymətləndirmə səviyyələrinin sayının 256-dan 16-ya dəyişdirilməsilə E_b/N_0 nisbəti təxminən 0,8 dB, daşıyıcının gücünün küyün gücünə nisbəti P_d/P_k nisbəti isə 1,2 dB artır. Bu nisbətlərin dəyişməsinə əsas səbəb yaranan kvantlama küylərinin təsiridir.

Təcrübi olaraq Bakı-Fatmayı radiorele xətti tədqiq olunmuş, bu kanal AAQK (Additiv Ağ Qauss Küyləri) kanalına və açıq traslar qrupuna aid edilərək tədqiq olunmuşdur. Radiorele xətti stansiyası olaraq “CERAGON” tipli verici-qəbuledici stansiyasından istifadə olunmuşdur.

Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı elmi işlərdə öz əksini tapmışdır:

1. Набиев, Р.И., Muradzade, E.İ. Метод оценки отношения сигнал—шум в wcdma технологии для повышения качества канала связи//— Москва: Наука, техника и образование, – 2018. № 4

2. Muradzadə, E.İ. Mobil rabitə sistemlərində əsas texniki parametrlərin yaxşılaşdırılması imkanlarının təhlili// – Bakı: MIMCS’2019, – 2019, – səh. 68. [\(PDF\) | INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE - MODERN INFORMATION, MEASUREMENT AND CONTROL SYSTEMS: PROBLEMS AND PERSPECTIVES 2019 \(MIMCS:PP 2019\).](#)

3. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında tələb olunan gücün və maneədayanıqlılığının təmin olunmasına dair// – Bakı: Azərbaycan

Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2020, – cild 23, №1(23), – səh. 50-56. [DƏRC OLUNMUŞ ƏSƏRLƏR – Milli Aerokosmik Agentliyi](#)

4. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. TV yayım siqnallarının kvantlanması zamanı yaranan kvantlama və məhdudlama küyləri nisbətinin hesablanması// – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuələri, – 2020, – cild 22, № 1-2, – səh. 16-21.

5. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sistemlərinin əks kanalında maneədayanılıqlığı, veriliş sürəti modulyasiya üsulu arasında kompromisin seçilməsinə dair// – Bakı: Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərin Xəbərləri, – 2020, – cild 01, buraxılış 01, – səh. 57-60.

6. Мамедов, И.Р., Исмаилов, З. А. Мурадзаде, Э.И. Компенсация шумов перегрузки при аналого-цифровом преобразовании сигнала яркости ТВ вещания// – Москва: Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов, – 2021, №3, –с. 20-25. [Microsoft Word - СИНХРОИНФО-3-2021-н](#)

7. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə., Muradzadə, E.İ. Rəqəmli TV yayım siqnalının məhdudlanma səviyyəsi// – Bakı: “Radiotexnikanın müasir problemləri” Respublika ETK, – 2021, – səh. 89-91. [AzTU-da “Radiotexnikanın müasir problemləri” mövzusunda respublika elmi-texniki konfransı keçirilib » ZiM.Az | “ZİYA” İnformasiya Mərkəzi](#)

8. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə., Muradzadə, E.İ. TV yayım parlaqlıq siqnalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərin səviyyəsinin təsvirin müşahidə müddətindən asılılığı// – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuəsi, – 2022, –cild 24, № 3, – səh. 32-38. [Elmi Macmua 2022 Cild 24 N 3-Tam.pdf](#)

9. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z.Ə., Muradzadə, E.İ. TV yayım parlaqlıq siqnalının kvantlanması zamanı yaranan ifrat yüklənmə küylərin səviyyəsinin qiymətləndirilməsi// – Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2022, – cild 25, №3(25), – səh. 47-52. [DƏRC OLUNMUŞ ƏSƏRLƏR – Milli Aerokosmik Agentliyi](#)

10. Mammadov, I.R., Ismailov, Z.A., Muradzada, E.I. New Technology Compensation of Restriction Noise at the Analog-to-

Digital Conversion of the TV Broadcasting Luminance Signal// – Vienna: Towards Industry 5.0: Selected Papers from ISPR2022, – pp. 325-332. [Towards Industry 5.0: Selected Papers from ISPR2022, October 6–8, 2022, Antalya | SpringerLink](#)

11. Muradzada, E.I. Determination of the allowable limit of the shift of tact moments of pulse sequence in digital transmission systems// –Baku: ECOENERGETİCS, –2022, N04, – pp.33-36. [Ecoenergetics-journal-N4-2022.pdf](#)

12. Muradzada, E.I. Transmission capacity of interactive television broadcast systems and increase their technical efficiency// – Baku: ECOENERGETİCS, – 2023, N0 1, – pp. 41-45. [Ecoenergetics-N1-2023-1.pdf](#)

13. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z. Ə., Muradzadə, E.İ. TV yayım videosiğnalının səviyyəsinin normal və tərs mütənəşib qanunlarla paylanması halında analoq-rəqəm çevrilməsi zamanı yaranan məhdudlama və kvantlama küylərinin təyin olunması// – Gəncə: Avtomatika, rabitə və informatika, – 2023, № 3, – səh. 13-15. [ATU-Azərbaycan Texnologiya Universiteti](#)

14. Muradzadə, E.İ. İnteraktiv TV yayım sisteminin əks kanalında maneədayanıqlı qeyri-koherent qəbulun təmin olunması// – Bakı: ADNSU-nun 100 illiyinə həsr olunmuş ADNSU gənc alim və tədqiqatçıların elmi-praktiki Konfransı, – 2023, – səh.

15. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv televiziya yayım sistemlərində kodlamanın energetik üstünlüyünün təyini// – Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2023, – cild 26, №3(26), – səh. 47-53. [DƏRC OLUNMUŞ ƏSƏRLƏR – Milli Aerokosmik Agentliyi](#)

16. Məmmədov, İ.R., Muradzadə, E.İ. İnteraktiv yerüstü televiziya yayım sisteminin əks kanalında baza stansiyasının radiovericisinin kanallar üzrə gücünün seçilməsi və tənzim olunması// – Bakı: Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyasının Elmi Məcmuəsi, – 2023, –cild 25, № 2, – səh. 1-7. [science.naa.edu.az/wp-content/uploads/2025/01/Elmi-Məcmuə-Cild-25-№2-2023.pdf](#)

17. Mammadov, I.R., Ismailov, Z. A., Muradzade, E.I. Theoretical and Experimental Assessment of the Noise Levels, Arising at the Analog-to-Digital Conversion of the TV Broadcast

Luminance Microwave Signals// – Nevada, International Journal of Microwave and Optical Technology, 2024, – vol.19, No5, September, – pp. 549-559. [VOL-19-NO-5](#)

18. Məmmədov, İ.R., İsmayılov, Z. Ə., Muradzadə, E.İ. Unipolyar TV yayım parlaqlıq signalının loqarifmik kompandlama yolu ilə kvantlanması zamanı yaranan küylərin səviyyələrinin qiymətləndirilməsi// – Bakı: Azərbaycan Milli Aerokosmik Agentliyinin Xəbərləri, – 2024, – cild 27, №4(27), – səh. 47-54. [DƏRC OLUNMUŞ ƏSƏRLƏR – Milli Aerokosmik Agentliyi](#)

19. Mammadov, I.R, Muradzade, E.I, Afandiyev, İ.D. To solving the problem of the “last mile” of the cable TV distribution network// – USA: 2025, – vol.8(2) march, – pp. 1264-1273. [To solving the problem of the “last mile” of the cable TV distribution network | International Journal of Innovative Research and Scientific Studies](#)

Dissertasiyanın müdafiəsi 20 sentyabr 2025-ci il tarixində saat 11-00-da Azərbaycan Texniki Universitetinin nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.04 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: H.Cavid prospekti 25, Bakı, Azərbaycan, AZ 1073, Azərbaycan Texniki Universiteti.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Texniki Universitetinin kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya işi və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Texniki Universitetinin rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 23.07.2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.