

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI**

Cu titlu de manuscris  
C.Z.U: 621.397: 654.172(478)(043)

**IACOB Mihail**

**ELABORAREA CONCEPTUALĂ ȘI IMPLEMENTAREA REȚELEI DE  
TELEVIZIUNE DIGITALĂ TERESTRĂ ÎN REPUBLICA MOLDOVA**

**231.02 Ingineria și tehnologia comunicațiilor electronice**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

**CHIȘINĂU, 2025**

Teza a fost elaborată în cadrul Î.S.”Radiocomunicații” (operator național al Republicii Moldova în domeniul radiodifuziunii terestre) și Universitatea Tehnică a Moldovei, Școala Doctorală UTM, departamentul ”Telecomunicații și Sisteme Electronice”, facultatea Electronică și Telecomunicații.

**Conducător de doctorat:**

AVRAM Ion, dr., conf.univ.

**Comisia de susținere publică a tezei de doctorat:**

BOLUN Ion, dr. hab., prof. univ., UTM	- președinte
ALEXEI Arina, dr., conf. univ., UTM	- secretar științific
AVRAM Ion, dr., conf. univ., UTM	- conducător de doctorat
GUȚULEAC Emilian, dr. hab., prof. univ., UTM	- referent
BOZOMITU Radu Gabriel, dr., prof. univ., Univ.Tehn. „Gheorghe Asachi” din Iași, Romania	- referent
COJOCARU Igor, dr., director, IDSI	- referent
ZAPOROJAN Sergiu, dr., conf. univ., UTM	- membru

Susținerea tezei va avea loc la 17 aprilie anul 2025, ora 14:00, în ședința Comisiei de Susținere Publică, aprobată prin decizia Consiliului Științific UTM din 20 ianuarie 2025, pe adresa: MD-2045, Republica Moldova, Chișinău, str. Studenților 9/7, bl.3, sala 3-208.

Teza de doctor și rezumatul pot fi consultate la Biblioteca Tehnico-Științifică a Universității Tehnice a Moldovei și pe pagina web a Agenției Naționale de Asigurare a Calității în Educație și Cercetare ([www.anacec.md](http://www.anacec.md)).

Rezumatul a fost expediat la 10 martie 2025.

Secretar științific al Comisiei de susținere publică,  
ALEXEI Arina, dr., conf. univ.

Conducător științific,  
AVRAM Ion, dr., conf. univ.

Autor:  
IACOB Mihail



@ IACOB Mihail, 2025

## CUPRINS

REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII.....	4
CONȚINUTUL TEZEI.....	7
CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI.....	22
BIBLIOGRAFIE.....	25
LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI.....	27
ADNOTARE.....	28
ANNOTATION.....	39
АННОТАЦІЯ.....	30

## REPERE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

### **Actualitatea temei și importanța problemei abordate**

În conformitate cu prevederile Acordului regional privind planificarea serviciului de radiodifuziune digitală terestră, semnat în cadrul Conferinței ITU Regionale de Radiocomunicații (or. Geneva, 2006) [1], începând cu 17 iunie 2015 Republica Moldova (RM) și-a asumat responsabilitatea de implementare a televiziunii digitale terestre (TDT). Lucrarea de față este destinată elaborării conceptuale și implementării rețelei de televiziune digital terestră (TDT) în RM. Alegerea temei de cercetare a fost determinată de reducerea decalajului dintre zona rurala și cea urbana privitor la accesul la informație diversă (programe TV), integrarea regiunii din stînga r. Nistru în spațiul informațional al Republicii Moldova. Totodată s-a ținut cont și de interesul sporit al comunității referitor la această tehnologie nouă. Tema cercetării corespunde integral cu Strategia de Transformare Digitală a Republicii Moldova pentru anii 2023-2030, aprobată de Ministerul Dezvoltării Economice și Digitalizării a Republicii Moldova, ce are scopul de a construi o societate digital modernă, aliniată la agenda de integrare Europeană.

**Scopul tezei** constă în elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de TDT în Republica Moldova. Pentru a reduce cheltuielile operaționale și resursele necesare pentru implementarea proiectului de digitalizare a eterului a fost pusă sarcina de a construi primul multiplex național „MUX-A” pe baza infrastructurii rețelelor terestre existente, ce aparțin Î.S. „Radiocomunicații”, operator național în domeniul radiodifuziunii terestre.

### **Obiectivele cercetării**

1. Selectarea modelului de prognozare a ariilor de acoperire „MUX-A” conform recomandărilor internaționale;
2. Determinarea parametrilor de funcționare a rețelei TDT ajustate la infrastructura rețelelor de radiodifuziune terestre existente;
3. Prognozarea intensității câmpului pentru zonele de servicii ale „MUX-A”;
4. Elaborarea tehnologiei de emisie a semnalului în „zonele de umbră” ale rețelei proiectate;
5. Implementarea proiectului prin punerea în exploatare a „MUX-A”;
6. Testarea parametrilor de calitate ai semnalului digital recepționat în „MUX-A”;
7. Elaborarea recomandărilor referitor la recepționarea semnalului digital în cadrul rețelelor terestre DVB-T2 cu o singură frecvență;
8. Estimarea preciziei de prognozare a intensității câmpului electromagnetic în condițiile reliefului și landsaftului RM.

Rezultatele așteptate ale cercetării: elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de TDT în RM eficientă din punct de vedere tehnic, tehnologic și economic.

### **Metodologia cercetării științifice**

Pentru realizarea obiectivelor tezei au fost utilizate următoarele metode de cercetare: algebră liniară, geometrie analitică, teoria comunicațiilor, teoria propagării undelor radio, statistica, recomandările internaționale ITU-R P.370, ITU-R P.1546 și ITU-R P.1812, standardele internaționale ETSI, reglementări, acte și documente normative, planificarea cercetărilor și măsurărilor, măsurările indicilor de calitate ai semnalului în condiții de laborator și în teren, analiza comparativă a valorilor indicilor de calitate ai semnalului obținute în urma efectuării măsurătorilor. Pentru prognozarea automatizată a intensității câmpului în zonele de servicii ale multiplexului național de TDT a fost folosit soft-ul specializat „ICS Telecom”.

### **Noutatea și originalitatea științifică**

1. A fost propusă o metodă nouă de estimare indirectă a interferențelor inter-simbol la intrarea receptorului rețelei DVB-T2 SFN SISO și modul de diminuare a acestora. În baza cercetărilor s-a demonstrat oportunitatea utilizării într-o rețea DVB-T2 SFN SISO a antenelor de recepție direcționale, cu multe elemente, strict orientate în direcția unde de cădere cu cea mai înaltă intensitate a câmpului.
2. A fost propusă folosirea infrastructurii existente a rețelelor de fibră optică pentru transmiterea fluxului T2-MI la intrarea modulatorilor DVB-T2 amplasate în cadrul „zonelor de umbră”. Implementarea acestei propuneri a făcut posibilă extinderea semnalului prin utilizarea infrastructurii existente a pilonilor de mică înălțime,  $H = 27$  m, și în consecință a permis a reduce în mod semnificativ cheltuielile operaționale și timpul necesar pentru implementarea rețelei de TDT. Concomitent, realizarea tehnică a acestei propuneri a făcut posibilă implementarea la distanță a unui sistem de monitorizare video și semnalizare a stațiilor de emisie DVB-T2 de mică putere amplasate în „zonele de umbră”.
3. A fost estimată precizia de prognozare a intensității câmpului calculată prin intermediul modelelor ITU-R P. 370, ITU-R P. 1546 și ITU-R P. 1812 în condițiile reliefului și landsaftului Republicii Moldova.

### **Problema științifică soluționată**

Au fost elaborate rețerele conceptuale ale rețelei de TDT în Republica Moldova, aplicarea cărora a permis implementarea primului multiplex național pe baza infrastructurii rețelelor terestre existente (drumuri de acces, clădiri tehnice, rețele electrice, turnuri, piloni, fidere, antene, sisteme de securitate și semnalizare etc.), ce aparțin Î.S. „Radiocomunicații”, operator național în domeniul radiodifuziunii terestre. În consecință, s-au redus în mod semnificativ cheltuielile operaționale și timpul necesar pentru construcția și punerea în funcțiune a rețelei TDT. În procesul de elaborare conceptuală și implementare a rețelei de TDT în RM au fost efectuate un șir de testări și cercetări, în urma cărora: a fost demonstrată oportunitatea aplicării recomandărilor ITU-R P. 1546 și ITU-R P. 1812 pentru prognozarea ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2 în condițiile reliefului și landsaftului RM; au fost obținute valorile numerice ale preciziei de prognozare efectuate prin intermediul modelelor menționate; a fost elaborată recomandarea referitor la modul de reducere a interferențelor inter-simbol la intrarea receptorului într-o rețea DVB-T2 SFN SISO.

### **Rezultate practice și științifice principale înaintate spre susținere**

1. Tehnologia de utilizare a recomandărilor ITU-R P.1546 și ITU-R P.1812 pentru prognozarea ariilor de acoperire DVB-T2 în condițiile reliefului și landsaftului Republicii Moldova.
2. Elaborarea recomandării referitor la modul de reducere a interferențelor inter-simbol la intrarea receptorului în rețeaua DVB-T2 SFN SISO.
3. Elaborarea metodei alternative de conectare a populației la semnalul digital terestru în „zonele de umbră” ale rețelei TDT proiectate.
4. Elaborarea conceptuală și implementarea rețelei TDT în Republica Moldova eficientă tehnic, tehnologic și economic.

### **Importanța teoretică și valoarea aplicativă a lucrării**

1. În urma elaborării conceptuale și implementării rețelei de TDT în RM a fost demonstrată flexibilitatea parametrilor de configurare a sistemului DVB-T2, care pot fi adaptați ușor la infrastructura rețelelor terestre existente, fapt ce permite a reduce în mod semnificativ cheltuielile operaționale destinate implementării rețelei TDT.

2. În urma cercetărilor teoretice și practice s-a demonstrat că utilizarea, de către telespectatori, într-o rețea DVB-T2 SFN SISO a antenelor de recepție direcționale, cu multe elemente, strict orientate în direcția unde de cădere cu cea mai înaltă intensitate a câmpului, poate reduce considerabil interferențele inter-simbol ale semnalelor de la intrarea receptorului. Punerea la dispoziția telespectatorilor în rețele comerciale din țară a antenelor menționate a sporit semnificativ calitatea serviciilor prestate.
3. În urma cercetărilor s-a demonstrat că utilizarea Gap Filler-elor în „zonele de umbră” ale RM nu este posibilă, deoarece necesită asigurarea atenuării diafoniei semnalului dintre intrarea antenei de emisie și ieșirea antenei de recepție de circa 100-110 dB. Aplicarea acestei condiții pe infrastructura pilonilor existenți cu înălțimea 27 m este practic imposibilă. Pentru emisia semnalelor în „zonele de umbră” ale Republicii Moldova este oportun a folosi emițătoarele de mică putere (cu condiția aducerii fluxului T2-MI la intrarea modulatorilor DVB-T2 prin intermediul infrastructurii rețelelor de fibră optică existente).
4. În procesul de implementare a „MUX-A”, din punct de vedere tehnologic și legislativ, RM a fost aliniată la noi standarde de TD, de rând cu cele mai dezvoltate țări europene, și în prezent depune eforturi pentru implementarea standardului de compresie de ultimă generație H.265.

#### **Aprobarea rezultatelor obținute**

Principalele rezultate științifice au fost prezentate la următoarele conferințe:

1. Ediția a IX-a, Conferința Internațională de Microelectronică și Informatică, „ICMCS-2017”, UTM, Chișinău, Moldova, 19-21 octombrie 2017.
2. 12th International Conference „Technologies of the Information Society (TIO 2018)”, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), Moscova, Rusia, 14-15 martie 2018.
3. Ediția a VI-a, Conferința Internațională de Telecomunicații, Electronică și Informatică „ICTEI 2018”, UTM, Chișinău, Moldova, 23-25 mai 2018.
4. International Conference „Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (Synchroinfo 2018)”, Minsk State Academy of Communications, Minsk, Belarus, 4-5 iulie 2018.
5. 13th International Conference „Technologies of the Information Society (TIO 2018)”, Moscow Technical University of Communications and Informatics (MTUCI), Moscova, Rusia, 20-21 martie 2019.
6. Conferința tehnico-științifică a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, UTM, Chișinău, Moldova, 26-29 martie 2019.
7. 21th International Conference „Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems” (WECONF 2019), St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Sankt-Petersburg, Rusia, 3-7 iunie 2019.
8. International Conference „Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (Synchroinfo 2018)”, P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Rusia, 1-3 iulie 2019.
9. 10th International Conference on Electronics, Communications and Computing „ECCO 2019”, Chișinău, Moldova, 23-26 octombrie 2019.
10. 11th International Conference on Electronics, Communications and Computing „ECCO 2021”, Chișinău, Moldova, 21-22 octombrie 2021.

## CONȚINUTUL TEZEI

**Introducerea** descrie actualitatea și relevanța temei tezei, precum și scopul, obiectivele și noutatea științifică a cercetărilor.

În **Capitolul 1** descrie procesul de implementare a tehnologiilor de TD la nivel mondial, avantajele tehnologiilor de TD în raport cu sistemele de televiziune analogică. Sunt studiate și cercetate aspectele tehnice și practice ce țin de implementarea TDT în RM, și anume: avantajele sistemelor de TD; alegerea standardului de emisie digitală terestră; alocarea spectrului radio pentru implementarea proiectului; alegerea sistemului de codare a semnalului digital; particularitățile tehnice și avantajele standardului de emisie terestră DVB-T2 (Digital Video Broadcasting – Terrestrial); particularitățile tehnice și elementele de sincronizare ale rețelelor DVB-T2 cu o singură frecvență; problemele asigurării emisie digitale terestre în „zonele de umbră”; experiența de implementare a rețelelor DVB-T și DVB-T2 în alte țări. În urma abordării aspectelor tehnice menționate a fost formulată problema de elaborare conceptuală și implementare a rețelei de TDT în RM, au fost formulate unele recomandări preliminare în vederea implementării proiectului.

Sistemele de TD au avantaje incontestabile în raport cu sistemele de televiziune analogică, și anume:

- Mult mai eficient este gestionat spectrul de frecvențe radio, în banda de frecvențe a unui canal ce poate transmite mai multe programe TV, inclusiv cu rezoluția înaltă a imaginii HD (High Definition).

- Imaginea digitală este de calitate mai bună decât cea analogică: este mai clară, conține mai multe detalii, deoarece este rezistentă la interferențe și zgomot.

- Telespectatorul are acces la mai multe facilități suplimentare, ca de exemplu tabelul EPG (Electronic Program Guide), suport în mai multe limbi, titluri în diferite limbi etc.

La ora actuală, în lume sunt puse în funcțiune mai multe sisteme de TD [2,3]:

1. DVB (Digital Video Broadcasting) – sisteme implementate în țările Uniunii Europene, Rusia, Australia, Ucraina, RM, în majoritatea țărilor africane.

2. ATSC (Advanced Television Systems Committee) – sisteme implementate în Statele Unite ale Americii, Canada, Mexic, Argentina, Taiwan și Coreea de Sud.

3. ISDB (Integrated Services Digital Broadcasting) – sisteme implementate în Japonia, America de Sud și alte țări ale lumii.

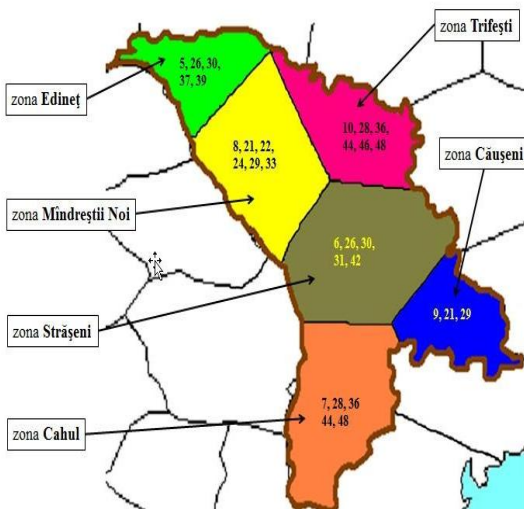
4. DMB (Digital Multimedia Broadcasting) – sisteme implementate în Coreea de Sud, China, Cuba, Hong Kong și alte țări.

DVB reprezintă un șir de standarde din domeniul televiziunii digitale elaborate de către un consorțiu internațional care activează sub denumirea DVB Project, astăzi incluzând circa 300 de companii din 35 țări. Aceste standarde sunt cunoscute sub următoarele denumiri: DVB-T, DVB-T2 – de difuziune terestră; DVB-H, DVB-SH, DVB-H2 – pentru dispozitive portabile; DVB-S, DVB-S2, DVB-S2X – de transmitere prin satelit; DVB-C, DVB-C2 – de transmitere prin cablu.

Sistemele DVB-T [4] și DVB-T2 [5] oferă soluții tehnice pentru implementarea rețelelor de TDT. Implementarea acestor tehnologii a permis reorganizarea spectrului radio destinat anterior pentru televiziunea terestră analogică, eliberând partea superioară a spectrului (694-862 MHz) pentru alte servicii noi din domeniul telecomunicațiilor. Conform datelor statistice din iulie 2022 referitor la repartizarea standardelor de TDT, în lume predomină standardele DVB-T și DVB-T2. Datorită amplasării sale geografice, în RM au fost adoptate standardele televiziunii digitale terestre DVB-T și DVB-T2, dar într-o perspectivă apropiată se va utiliza doar sistemul DVB-T2.

Datorită aplicării principiului COFDM (Coded Orthogonal Frequency Division Multiplexing) [6], sistemele de televiziune digitală terestră DVB-T și DVB-T2 sunt bine adaptate pentru implementarea TDT în condițiile când semnalul ajunge în punctul de recepție prin mai multe căi de propagare. Datorită acestui fapt, standardele menționate au fost aplicate pentru implementarea TDT (în benzile VHF și UHF) în majoritatea țărilor lumii. Decizia de a implementa standardul DVB-T2 a fost acceptată de administrațiile din Austria, Regatul Unit, Germania, Danemarca, India, Spania, Italia, Kazahstan, Slovacia, Ucraina, România, Belarus, Finlanda, Cehia, Suedia, Africa de Sud, Rusia, Albania, Algeria și multe alte țări. Mai mult, într-un număr mare de țări tranziția la standardul DVB-T2 a fost deja finalizată, cum ar fi în Andorra, Austria, Columbia, Republica Cehă, Republica Macedonia, Luxemburg, Portugalia, România, Franța, Arabia Saudită, Germania, Grecia, Ungaria, Islanda, Serbia, Slovacia, Regatul Unit etc. Totodată, la nivel mondial, se observă o tendință de migrare de la tehnologia DVB-T spre tehnologia DVB-T2 și de la sistemul de compresie MPEG-2 spre MPEG-4 și MPEG-H.

Conform prevederilor Acordului regional ce ține de planificarea serviciului de radiodifuziune digitală terestră, aprobat în cadrul Conferinței Regionale de Radiocomunicații RRC-06 (or. Geneva, 2006) [1] și ratificat prin Legea Parlamentului în anul 2008 [7], începând cu 17 iunie 2015, RM și-a asumat responsabilitatea de a finaliza digitalizarea rețelelor de televiziune terestră [8]. Această responsabilitate și-a asumat-o 104 țări. La conferința menționată a fost adoptat un nou plan de frecvențe care a definit utilizarea benzilor de transmisie III (VHF – 174-230 MHz) și benzilor IV/V (UHF – 470-862 MHz) pentru transmisia terestră digitală. Conform documentelor finale RRC-06, teritoriul RM a fost împărțit în 6 zone de servicii naționale [1]. Amplasarea zonelor naționale de TDT pe teritoriul RM este reprezentată în figura 1. În scopul utilizării raționale a spectrului radio, s-a luat decizia în vederea implementării rețelelor de TDT prin aplicarea tehnologiei rețelelor SFN (Single Frequency Network). Astfel, pentru implementarea „MUX-A” au fost alocate 6 canale din banda de frecvențe UHF.



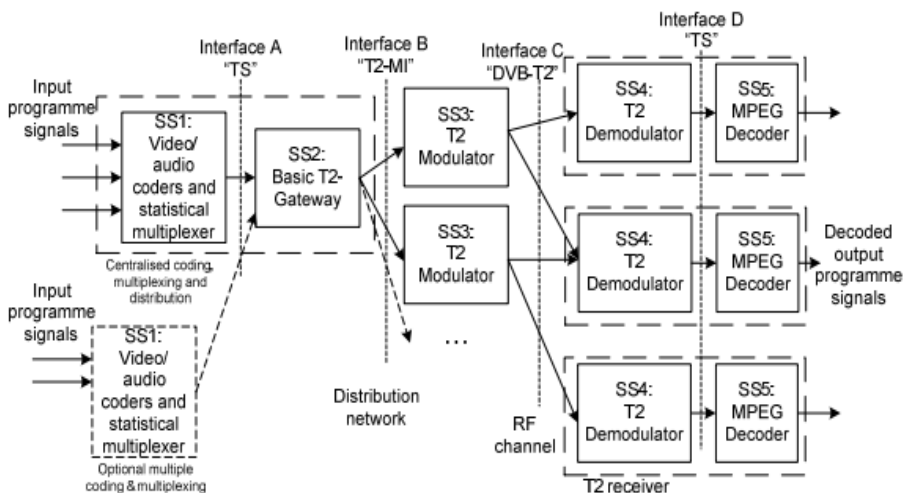
**Figura 1. Amplasarea zonelor naționale de TDT, pe teritoriul Republicii Moldova**



Funcționarea sistemelor de TD este posibilă numai cu condiția aplicării tehnologiilor MPEG (Moving Pictures Experts Group) de codare (comprimare) a semnalelor digitale [3]. Actualmente, în lume sunt utilizate pe scară largă două standarde de comprimare a semnalului video digital: H.262/MPEG-2 și H.264 AVC/MPEG-4. Recent a fost dezvoltat și standardul H.265 HEVC/MPEG-H ce are avantaje incontestabile din punct de vedere al capacității sistemului. Acest standard deja începe a fi implementat în multe țări din lume.

În anul 2016, în comun cu un grup de specialiști din cadrul I.S. „Radiocomunicații”, au fost efectuate testările tehnice ale codoarelor de tip H.265 în scopul aplicării, în viitorul apropiat, a acestei tehnologii moderne la formarea multiplexurilor naționale de TD. Testările reale, care s-au efectuat în mun. Chișinău pe canalul 58, au demonstrat eficiența noii tehnologii de compresie. Astfel, în baza argumentelor prezentate Ministerului Tehnologiei Informației și Comunicațiilor, prin Hotărârea Guvernului RM [9] tehnologiile H.264 și H.265 au fost aprobate în calitate de standarde naționale de compresie.

Modelul arhitectural al clusterului DVB-T2 SFN este reprezentat în figura 2. Segmentul de emisie este compus din 3 elemente de bază: stația de codare și multiplexare a conținutului audiovizual; stația de procesare a fluxurilor „T2 Gateway”; modulatorii DVB-T2. Primele două formează stația centrală a sistemului, așa-numita stație „Head End”. Stația de codare și multiplexare generează fluxurile TS (Transport Stream) sau GS (Generic Stream) care ulterior sunt aplicate la intrarea dispozitivului „T2 Gateway” [10]. Funcția acestuia este de a genera la ieșirea sa fluxul în serie T2-MI (DVB-T2 Modulator Interface), cu pachete digitale adaptate pentru procesarea lor ulterioară în modulatorii rețelei. Fluxul T2-MI este transmis la intrarea modulatorilor printr-o rețea de distribuție.



**Figura 2. Modelul arhitectural al sistemului DVB-T2 SFN [11]**

Implementarea rețelei SFN prevede amplasarea în „Interfața C” a clusterului mai multor semnale DVB-T2 identice cu legarea resurselor lor timp-frecvență de un singur sistem de sincronizare. Pentru realizarea acestui obiectiv, la intrarea modulatorilor rețelei sunt aplicate datele identice conținute în pachetele digitale ale fluxului T2-MI. Totodată, la intrarea fiecărui

modulator din componența rețelei SFN și la intrarea dispozitivului „T2 Gateway” sunt aplicate semnalele de sincronizare de referință 10 MHz și 1 pps. În aceste scopuri pot fi utilizate receptoarele globale de poziționare GPS, GLONASS sau alte surse externe de referință cu precizie înaltă. Semnalul 1 pps (un impuls pe secundă) are o durată de 100 ns și se formează prin divizarea frecvenței de referință 10 MHz.

Pentru asigurarea acoperirii cu semnal în „zonele de umbră” se propune amplasarea în teren a repetoarelor de putere redusă. În cazul implementării rețelei terestre cu o singură frecvență pot fi aplicate retranslatoarele de putere redusă de tip  $f_1/f_1$ , așa-numitele Gap Fillere. Totodată, din cauza prezenței la intrarea Gap Filler-ului a ecourilor propriului semnal, există un șir de limitări tehnice ce țin de exploatarea acestuia. Reieșind din cele menționate, în procesul de proiectare și implementare a „MUX-A” a fost pusă sarcina de a cerceta oportunitatea/posibilitatea aplicării Gap-Filler-elor în „zonele de umbră” ale RM.

În urma abordării problemelor elaborării și implementării TDT în RM au fost trase următoarele concluzii:

1. Pentru construcția „MUX-A” va fi necesar a implementa următoarele componente tehnice: stația de codare și multiplexare a conținutului audiovizual; stația „T2 Gateway” de generare a fluxului digital T2-MI; rețeaua IP de distribuție a fluxului digital T2-MI; 6 rețele DVB-T2 SFN;

2. În procesul de implementare a „MUX-A” va fi necesară ajustarea parametrilor de configurare a sistemului la infrastructura rețelelor existente de emisie terestră. Utilizarea infrastructurii existente va permite a optimiza esențial utilizarea resurselor materiale și va influența tariful final la prestarea serviciilor de TDT de către operatorii naționali din domeniul audiovizualului.

3. Proiectarea și implementarea unei rețele DVB-T2 SFN este o problemă complexă. Concomitent cu alegerea parametrilor de emisie, codare și modulare a semnalului este necesar a implementa și elemente de sincronizare a rețelelor. Pentru funcționarea fiabilă a multiplexului va fi necesar a include în lanțul tehnologic semnalele externe de referință 10 MHz și 1 pps și semnalul intern de sincronizare a fazei semnalelor emise.

4. Din punct de vedere tehnologic și legislativ, în urma implementării TDT, RM se va alinia la noi standarde în domeniul TD, de rând cu cele mai dezvoltate țări europene.

5. În **Capitolul 1** a fost efectuat studiul problemelor elaborării conceptuale și implementării TDT în RM. S-a demonstrat avantajul standardului DVB-T2 în raport cu alte sisteme. În concluzie, scopul lucrării - elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de TDT în RM - este justificat. De asemenea, și obiectivele principale ale proiectului - elaborarea parametrilor de configurare „MUX-A”; prognozarea intensității câmpului pentru zonele naționale de servicii; implementarea proiectului prin punerea în exploatare a „MUX-A”; testarea parametrilor de calitate ai semnalului recepționat în interiorul clusterului DVB-T2 SFN - sunt actuale.

**Capitolul 2** descrie tehnologia de implementare a multiplexului național de TDT în RM, cum ar fi:

**1. Selectarea modelului de prognozare a ariilor de acoperire din cadrul „MUX-A”** pentru prognozarea ariilor de acoperire cu semnal terestru. În acest scop pot fi utilizate mai multe modele de calcul, inclusiv modele „punct - la suprafață” descrise în Recomandările Uniunii Internaționale a Telecomunicațiilor ITU-R P.370, ITU-R P.1546 [12] și ITU-R P.1812 [13]. Aceste recomandări sunt metode de prognozare „punct - la suprafață” pentru serviciile terestre în gama de frecvențe de la 30 MHz până la 3000 MHz. Specialiștii Î.S. “Radiocomunicații”

utilizează cu succes timp îndelungat recomandarea ITU-R P.1546 care demonstrează o precizie satisfăcătoare. Totodată, efectuând calculele cu ajutorul recomandărilor ITU-R P.370, ITU-R P.1546 și ITU-R P.1812, putem observa că, având la bază aceiași parametri de configurare ai rețelei terestre, valorile prognozate ale intensității câmpului, suprafața și forma acestor arii prognozate diferă una de alta. Reieșind din cele menționate, a fost înaintat obiectivul de a selecta modelul de prognozare a ariilor de acoperire din cadrul „MUX-A”. În scopul realizării obiectivului propus a fost efectuată calcularea zonelor de acoperire cu semnal DVB-T2 pentru stația de emisie canalul 58, amplasată în mun. Chișinău, str. Lech Kacyznschi 3. În urma analizei a fost stabilit, că calitatea normată a semnalului DVB-T2 prognozată prin recomandarea ITU-R P.1546 a fost confirmată și prin rezultatele de calcul efectuate prin intermediul recomandării ITU-R P.1812. Totodată conturul presupusei zone de acoperire este mai uniform în cazul aplicării modelului ITU-R P.1546. Reieșind din argumentele prezentate mai sus, s-a înaintat propunerea de a utiliza recomandarea ITU-R P.1546 pentru prognozarea ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2 în cadrul „MUX-A”.

Totodată, s-a considerat oportun a elabora o recomandare în vederea aplicării modelelor ITU-R P.1546 și ITU-R P.1812 pentru prognozarea ariilor de acoperire, în condițiile reliefului și landşaftului RM. În acest sens, s-a înaintat propunerea de a efectua estimarea preciziei de prognozare a ariilor de acoperire în zona de servicii „MUX-A” după implementarea acestuia.

**2. Prognozarea ariilor de acoperire a zonelor de servicii din cadrul „Mux-A”** pentru prognozarea ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2, fiind necesar de a elabora următoarele elemente tehnologice ale multiplexului național: alegerea modului de operare a sistemului; configurarea rețelelor (planificarea parametrilor de transmisie, planificarea resurselor timp-frecvență a frame-ului etc.); calcularea puterii mediane minime a câmpului la hotarele ariilor de acoperire; prognozarea ariilor de acoperire ale rețelelor terestre. Configurarea parametrilor tehnici ai sistemului și planificarea ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2 s-a efectuat prin prisma unor cerințe de bază – utilizarea la maximum a infrastructurii rețelelor de difuziune terestră existente și asigurarea capacității maxime a sistemului.

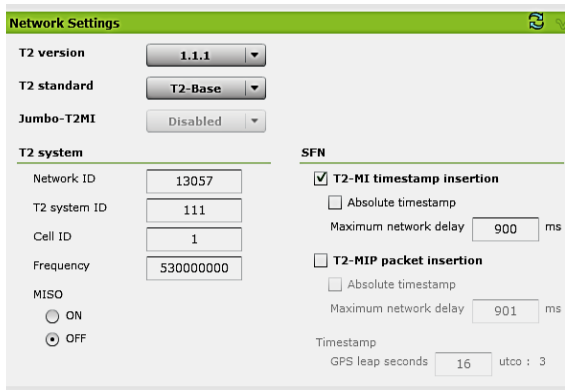
Emisia simbolurilor COFDM, de la ieșirea modulatorului DVB-T2, prevede două regimuri de funcționare SISO (Single Input, Single Output) și MISO (Multiple Input, Single Output) [5]. Regimul SISO prevede că toate modulatele clusterului emit același semnal. În regimul MISO modulatele clusterului sunt divizate în două grupuri. Primul grup de modulate transmite simbolurile COFDM ca și în cazul regimului SISO. Al doilea grup de modulate transmite simbolurile COFDM procesate conform algoritmului Alamouti. Așadar, la intrarea receptorului ajung două grupe de semnale. Aplicarea regimului MISO permite a reduce interferențele inter-simbol în sistem, dar totodată reduce din capacitatea sistemului.

Parametrii de configurare ai „MUX-A” au fost setați prin intermediul opțiunilor stației „T2 Gateway”. Configurarea sistemului a fost divizată în patru etape [14]:

- *setarea regimului de operare a clusterului;*
- *setarea parametrilor rețelelor SFN;*
- *setarea resurselor timp-frecvențe a frame-ului DVB-T2;*
- *setarea parametrilor canalului fizic (PLP).*

Pentru funcționarea „MUX-A” a fost ales *regimul de operare*: SISO; „System B”; „Single-PLP”. Aplicarea regimului „System B” a permis implementarea în cadrul „MUX-A” a rețelelor terestre SFN. În acest caz, pentru implementarea „MUX-A” au fost necesare 6 frecvențe/canale.

În figura 3 este vizualizată setarea parametrilor rețelei SFN. Din imagine putem observa următoarele: pentru funcționarea sistemului este selectat profilul de bază al standardului DVB-T2; regimul MISO nu este activat; pachetele T2-MIP (destinate pentru sincronizarea repeterelor de mică putere din cadrul „zonelor de umbră”) nu sunt activate; sincronizarea momentului de emisie a simbolurilor COFDM de la ieșirea modulatorilor rețelei - strict peste 900 ms după receptarea impulsului de sincronizare 1 pps [15].



**Figura 3. Dispozitivul „T2 Gateway”: opțiunea Network Settings**

Pentru implementarea „MUX-A” au fost instalate următoarele setări a resurselor timp-frecvențe ale frame-ului DVB-T2: Banda de frecvențe a canalului – 8 MHz; Parametrul *FFT mode* – 32k extended; *Guard interval* – 19/256; *Scattered-pilot patterns* – PP4; *PAPR redaction* – nu a fost activat.

Parametrul *FFT mode* (Fast Fourier Transform) stabilește numărul frecvențelor subpurtătoare în banda canalului al sistemului DVB-T2. Pentru majorarea numărului de frecvențe subpurtătoare în componența simbolului COFDM a fost aplicată extinderea benzii de frecvențe a canalului (32k extended). Într-un canal cu lățimea 8 MHz, trecerea parametrului *FFT size* de la 32k la 32k extended a permis majorarea benzii utile a canalului de la 7,61 MHz până la 7,77 MHz.

Valorile intervalului de gardă în sistemul DVB-T2, pentru canalul 8 MHz, sunt inserate în tabelul 1 [16]. Pentru implementarea rețelelor SFN și recepția staționară a semnalului este recomandat regimul FFT - 32k. În acest caz, durata simbolului COFDM constituie 3.584 ms.

**Tabelul 1. Durata intervalului de gardă în sistemul DVB-T2 pentru canalul 8 MHz**

		GI-Fraction						
		1/128	1/32	1/16	19/256	1/8	19/128	1/4
FFT	$T_U$ (ms)	GI (μs)						
32k	3.584	28	112	224	266	448	532	n/a

Pentru setările rețelei 32k extended și durata intervalului de gardă 19/256 - distanța dintre emițătoarele vecine din cadrul clusterului DVB-T2 [17] se încadrează în limita de 80 km ( $3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \cdot 266 \cdot 10^{-6} \text{ s} = 79.8 \cdot 10^3 \text{ m}$ ). Totodată, menționăm că distanța dintre toate amplasamentele adiacente ale rețelilor existente de difuziune terestră (amplasate în interiorul zonelor de servicii „MUX-A”) nu depășește distanța de 80 km.

A fost activat șablonul PP4 (SISO) al frecvențelor *scattered-pilot*. Parametrii acestui șablon reprezintă un compromis între rezistența la perturbații a sistemului și viteza de transmitere a datelor în rețea.

Tehnologia COFDM este caracterizată prin raportul relativ de înalt dintre nivelul de vârf și nivelul mediu al semnalului RF, așa-numitul PAPR (Peak to Average Power Ratio). Din această cauză, semnalul DVB-T2 este destul de sensibil la distorsiunile neliniare în cascadele finale ale amplificatoarelor de putere. La setarea parametrilor „MUX-A”, opțiuni speciale pentru reducerea valorii PARP nu au fost activate. Acest fapt a fost posibil datorită utilizării, la implementarea rețelei, a emițătoarelor DVB-T2 ale producătorilor de top la nivel mondial (GATES AIR, SUA).

Pentru transmiterea datelor în cadrul „MUX-A” au fost setați următorii parametri al canalului fizic: modulația frecvențelor PLP0 - QAM-256 cu rotația constelației semnalului; viteza codului de protecție 2/3; lungimea BB-cadrului codat constituie 64800 biți (după codorul LDPC). Rotația constelației semnalului canalului fizic se efectuează în scopul de a îmbunătăți protecția semnalului contra perturbațiilor în canalul de telecomunicații.

Viteza de transmitere a datelor în sistem obținută în urma configurării acestuia constituie 36.5 Mbit/s. Așadar, având la bază sistemul de compresie H.264 AVC/MPEG-4 se poate transmite în cadrul „MUX-A” până la 15 programe TV în formatul SD ( $36.5/2.5 \approx 14.6$ ).

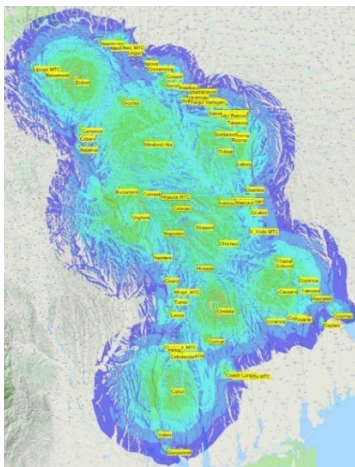
Calcularea valorii raportului C/N (purtătoarea/zgomot) și valorii intensității minimale mediane ale câmpului  $E_{med}$  pentru sistemul de emisie proiectat, a fost efectuată în baza recomandării internaționale „Report ITU-R BT.2254-3 (03/2017), Frequency and network planning aspects of DVB-T2”. Raportul C/N caracterizează rezistența sistemelor de transmisiune la zgomot și interferențe. Stabilirea valorii acestui raport este necesară pentru determinarea puterii minimale admisibile al semnalului la intrarea receptorului și este de o importanță fundamentală pentru planificarea rețelei. Calcularea valorii  $E_{med}$  pentru zonele de servicii din cadrul „MUX-A” a fost efectuată pentru recepția fixă al semnalului, pentru cazul când antena de recepție este amplasată la o înălțime 10 m deasupra solului. Calculele au fost elaborate pentru frecvența de reper 650 MHz. În urma calculelor, au fost stabilite valorile:  $(C/N)_{„MUX-A”} = 20.4 \text{ dB}$ ;  $E_{med r} = 54.7 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  pentru “*location probability*” 95 %. Valorile finale  $E_{med}$  pentru zonele naționale de servicii sunt înscrise în tabelul 2.

**Tabelul 2. Calcularea valorii  $E_{med}$  pentru zonele naționale de servicii, din cadrul „MUX-A”, (“*location probability*” 95%)**

Zona	CH	F, MHz	Fr, MHz	$E_{med r}$ , dB $\mu$ V/m	Corr, dB	$E_{med}$ , dB $\mu$ V/m
Causeni	21	474	650	54.7	-2.7427	52.0
MN	22	482	650		-2.59733	52.1
Trifesti	28	530	650		-1.77275	52,9
Edinet	30	546	650		-1.51441	53,2
Straseni	31	554	650		-1.38807	53,3
Cahul	36	594	650		-0.78254	53,9

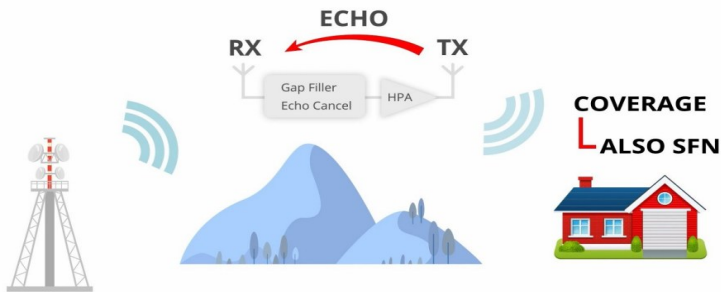
Calcularea ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2, transmis în cadrul „MUX-A”, s-a efectuat prin utilizarea unui software specializat „ICS Telecom”. Soft-ul specializat a fost aplicat pentru fiecare amplasament. În calculele automatizate au fost introduse: coordonatele geografice punctului de emisie; înălțimea bazei pilonului deasupra nivelului mării; înălțimea și azimutul de suspendare a antenei de emisie; puterea maximală aparent radiată a antenei de emisie; diagramele de directivitate a antenei de emisie în plan orizontal și vertical; valori minime mediane  $E_{med}$  ale intensității câmpului pentru zonele de servicii; pasul de calcule, peste fiecare 1 grad., începând cu 0 grade.

La baza prognozării ariilor de acoperire cu semnal DVB-T2, din cadrul „MUX-A”, au stat Avizele și Caietele de sarcini eliberate de Serviciul Național de Management al Frecvențelor Radio (SNMFR): nr. 06/1-239 din 26.03.2018 pentru stațiile de putere mare ( Stațiile SRTV); nr. 06/1-322 din 14.02.2017 pentru stațiile de putere medie ( Stațiile STV); nr. 06/1-190 din 19.02.2019 și 06/1-450 din 15.05.2019 pentru stațiile de putere mică (stațiile de emisie situate în „zonele de umbră”). Zonele de acoperire a stațiilor de emisie, stipulate în Avizele menționate, asigură accesul a 99% din populația RM la conținutul audiovizual „MUX-A”. Aria de acoperire a „MUX-A” pentru probabilitatea recepției 95% este prezentată în figura 4.



**Figura 4. Aria de acoperire al „MUX-A”, intensitatea câmpului  $E \geq E_{med}$ , probabilitatea locației 95 %**

**3. Elaborarea tehnologiei de emisie a semnalului digital în „zonele de umbră”** pentru extinderea accesului populației la semnalul digital terestru în „zonele de umbră” ale RM. Astfel, a trebuit elaborată o soluție tehnică referitoare la modul de emisie a semnalului în zonele teritoriale ale Republicii Moldova [18]. În acest sens, a fost important a cerceta oportunitatea utilizării în „zonele de umbră” a unui dispozitiv tehnic specializat – repetorul de putere redusă de tipul  $f_1/f_1$ , așa-numit Gap Filler [19]. O condiție de bază legată de cercetarea posibilității aplicării Gap Filler-ului a fost ajustarea parametrilor tehnici de funcționare a acestuia la infrastructura rețelelor terestre existente în „zonele de umbră” ale RM, și anume, pilonii tipici cu înălțimea de 27 m. Gap Filler este un repetor al semnalului digital terestru de tip  $f_1/f_1$ , cu procesare și amplificare a semnalului. În consecință, o anumită parte al semnalului (ecoul) de la ieșirea antenei de transmisie revine înapoi la intrarea Gap Filler -ului (a se vedea figura 5).



**Figura 5. Gap-Filler într-o rețea de radiodifuziune digitală terestră [20]**

Conform recomandărilor tehnice ale producătorilor nivelul ecoului de la intrarea Gap Filler-ului nu trebuie să depășească nivelul semnalului de la intrarea rețelei mai mult de 12-15 dB. Prin urmare, pentru a asigura funcționarea fiabilă a Gap Filler-ului, trebuie asigurată o izolare adecvată [20] a semnalului dintre intrarea antenei de emisie și ieșirea antenei de recepție.

Pentru a investiga posibilitatea aplicării repetoarelor, de tip  $f_1/f_1$ , în „zonele de umbră” ale rețelei proiectate, au fost efectuate teste în teren ale Gap Filler - ului, producătorul compania TRedess. În urma testărilor, s-a ajuns la concluzie, că exploatarea Gap Filler-ului pe baza infrastructurii existente a Î.S. „Radiocomunicații” nu este posibilă, deoarece din cauza înălțimii reduse a pilonilor existenți, nu se va putea asigura nivelul adecvat al raportului ecoul/semnal de la intrarea Gap Filler- ului. Totodată s-a luat decizia: pentru emisia semnalului în „zonele de umbră” ai RM este necesar de aplicat emițătoare DVB-T2 de mică putere (50 – 100 W). În acest caz, transportul fluxului digital T2-MI până la intrarea emițătoarelor menționate se va asigura prin intermediul rețelelor de fibră optică existente, accesul la infrastructura cărora este practic disponibil în orice localitate a RM.

Totodată, aplicarea rețelelor IP pentru furnizarea semnalului de intrare T2-MI în „zonele de umbră” ai RM va permite de a monitoriza la distanță parametrii tehnici ale emițătoarelor DVB-T2, precum și de a efectua monitorizarea video a stațiilor de emisie digitală de mică putere.

**În Capitolul 3** au fost soluționate unele probleme practice ce țin de estimarea nivelului sumar al semnalului indus la bornele antenei de recepție, în funcție de condițiile de recepție ale acestuia. A fost estimată precizia de prognozate a intensității câmpului în condițiile reliefului și landşaftului RM. Astfel, acest capitol include 5 secțiuni principale.

**1. Implementarea „MUX-A”** care a fost efectuată în perioada anilor 2016–2019 de către Î.S. „Radiocomunicații” prin punerea în funcțiune în RM a primului multiplex național de TDT. Pentru implementarea „MUX-A” au fost construite 6 rețele DVB-T2 SFN SISO. Așadar, folosind infrastructura rețelelor terestre existente de televiziune, au fost puse în funcțiune în toată țara 8 emițătoare de mare putere (1.5kW) și 15 emițătoare de putere medie (0,2-0.3kW). Emițătoarele de putere mare și medie, aduc cel mai mare aport la asigurarea accesului telespectatorilor la semnalul DVB-T2. Implementarea „MUX-A” a asigurat accesul la semnalul digital aproximativ a 95% din populația țării. Totodată, datorită particularităților reliefului, în RM existau aproximativ 60 de localități situate în așa-numitele „zone de umbră”, unde semnalul

terestru digital nu putea fi recepționat. Pentru asigurarea accesului populației la semnalul digital în „zonele de umbră” s-a înaintat propunerea de a construi stațiile de emisie digitală terestră pe infrastructura existentă a pilonilor de retransmisie a semnalului TV analogic. Sistemul emisie TV în format analogic a fost finalizată în luna mai a anului 2022. La fel, în această perioadă a început construcția site-urilor de emisie DVB-T2 în „zonele de umbră” (la finele anului 2022 au fost construite 30 site-uri). În prima jumătate a anului 2023 au fost construite încă 30 de site-uri. Așadar, construcția „MUX-A” în RM a fost finalizată și actualmente este asigurat accesul la semnalul multiplexului pentru 99% din populația țării și 97% din teritoriul țării.

**2. Implementarea regimului de operare multi – PLP în cadrul „MUX-A”,** pentru asigurarea prezentei posturilor publice de TV în fiecare casa (cca99.9%). La etapa sistării emisie TV în format analogic a apărut necesitatea de a spori procentul populației conectate la semnalul DVB-T2 (inclusiv în „zonele de umbră”). În acest scop am propus de a asigura pentru câteva programe TV o arie de acoperire mai mare. Realizarea acestui obiectiv a fost posibilă prin implementarea regimului de operare multi-PLP al multiplexului de TDT. Așadar, a fost stabilit obiectivul – a crea în cadrul fluxului de date transmis către telespectatori un strat fizic compus din 3 programe TV cu un indice de modulare mai mic în raport cu parametrii de emisie ai fluxului de date inițial.

Fluxul de date al „MUX-A” a fost împărțit în două straturi fizice – PLP\_0 și PLP\_1. Au fost stabiliți parametrii de emisie al fluxului PLP\_0 – modulația 16 QAM, viteza codului de protecție 3/4. Alegerea parametrilor de emisie fluxului PLP\_1 – modulația 256 QAM, viteza codului de protecție 2/3.

Valoarea raportului purtătoarea/zgomot calculată pentru stratul fizic PLP\_1 constituie 20.4 dB. În urma calculării raportului purtătoarea/zgomot pentru stratul fizic PLP\_0 a fost obținută valoarea 12.5 dB. Așadar diferența rapoartelor purtătoarea/zgomot constituie:

$$(C/N)_{„PLP_1”} - (C/N)_{„PLP_0”} = 20.4 \text{ dB} - 12.5 \text{ dB} = 7.9 \text{ dB} \\ 10^{0.79} = 6.17$$

Astfel, rezultatele obținute sunt echivalente cu majorarea puterii de emisie a semnalului PLP\_0 în raport cu semnalul PLP\_1 de 6 ori. Respectiv putem afirma și despre îmbunătățirea condițiilor de recepție și mărirea ariei de acoperire a fluxului PLP\_0 în raport cu fluxul PLP\_1.

Implementarea regimului multi-PLP a permis de a mări fără investiții procentul populației conectată la semnalul DVB-T2. Capacitatea sistemului configurat constituie  $(7.9 + 22.3) \text{ Mb/s} = 30.2 \text{ Mb/s}$ . Așadar, vom putea transmite în cadrul „MUX-A” până la 12 programe TV în formatul SD ( $30.2/2.5 \approx 12$ ).

**3. Testarea calității serviciului prestat în zona de servicii Strășeni,** concomitent cu implementarea „MUX-A”, urmind a fi testați parametrii de calitate ai semnalului [21, 22] recepționat în clusterul Strășeni, canalul 31. La momentul efectuării testărilor, în componența clusterului menționat funcționau 3 emițătoare DVB-T2 amplasate în localitățile Strășeni, Hîncești și Ivancea. Testările semnalului s-au efectuat în 6 puncte de control al clusterului. Măsurările indicilor de calitate, fiind efectuate în două regimuri de operare:

1. Regimul  $T_x$  – a funcționat numai unul din emițătoarele rețelei, antena de recepție consecutiv a fost orientată strict în direcția antenei de emisie acestui emițător;

2. Regim SFN – au funcționat 3 emițătoare, antena de recepție consecutiv a fost orientată strict în direcția fiecărei antene de emisie.

Rezultatele obținute sunt prezentate în Tabelul 3. Pentru măsurări a fost utilizată antena direcțională R&S HL 040.



**Tabulul 3. Indicii de calitate a semnalului recepționat în clusterul Strășeni, canalul 31**

№ p.r.	Parametrii semnalului	Orientarea antenei de referință direcționale R&S HL 040					
		Stația Strășeni		Stația Hîncești		Stația Ivancea	
		T <sub>x</sub>	SFN	T <sub>x</sub>	SFN	T <sub>x</sub>	SFN
1	E, dB(μV/m)	-	78.1	70.7	72.1	-	51.2
	MER, dB	-	30	33.1	30.9	-	16.8
	C/N, dB	-	36.8	29.6	30.7	-	10.6
	CBER	-	9.2E-04	1.1E-04	3.0E-04	-	8.6E-02
	LBER	-	1.0E-09	1.0E-07	1.0E-08	-	1.0E-07
2	E, dB(μV/m)	60.3	60.7	63.4	63.4	49	51.8
	MER, dB	27.3	25	30.1	29.4	18.9	13.3
	C/N, dB	19.3	20.3	22.2	22.3	7.9	10.9
	CBER	3.1E-03	5.0E-03	8.9E-04	8.6E-04	8.8E-02	9.6E-02
	LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-09	1.0E-08	1.0E-07	5.9E-07
3	E, dB(μV/m)	52	52.3	48.8	49.2	41.1	48.9
	MER, dB	20.9	20.7	-	-	-	-
	C/N, dB	11.1	11.9	7.8	8.2	0.3	7.9
	CBER	5.8E-02	5.8E-02	-	-	-	-
	LBER	1.0E-07	1.0E-07	-	-	-	-
4	E, dB(μV/m)	48.1	53.6	71.4	71.4	43.7	52.7
	MER, dB	-	17.6	34.9	34.6	-	16.5
	C/N, dB	6.4	12.5	30.3	30.3	2.6	11.8
	CBER	-	6.8E-02	6.5E-05	4.3E-05	-	7.5E-02
	LBER	-	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-09	-	1.0E-07
5	E, dB(μV/m)	51.9	52.4	56.1	56	41	46.9
	MER, dB	21.8	20.6	26.4	25.5	-	-
	C/N, dB	11	11.4	15.3	15.1	0.2	6
	CBER	4.7E-02	4.8E-02	1.2E-02	1.4E-02	-	-
	LBER	1.0E-08	1.0E-08	1.0E-09	1.0E-08	-	-
6	E, dB(μV/m)	63.8	66	88.7	88.3	51.1	68.2
	MER, dB	28.4	17.6	34.9	33.3	21.2	25
	C/N, dB	22.7	25	47.2	46.7	10.1	27.2
	CBER	1.8E-03	1.6E-02	5.7E-05	1.8E-04	5.9E-02	1.4E-02
	LBER	1.0E-08	1.0E-09	1.0E-08	1.0E-09	1.0E-08	1.0E-07

În urma estimării indicilor de calitate a semnalului DVB-T2 recepționat prin intermediul antenei direcționale în clusterul Strășeni, au fost trase următoarele concluzii:

1. La toate cele 6 puncte de test, recepția semnalului a fost posibilă din cel puțin una din direcții de emise, fapt care demonstrează eficiența utilizării tehnologiei SFN pentru diminuarea suprafețelor de umbră în zona de servicii.

2. În punctele de control numărul 1, 2, 4, 6 intensitatea câmpului la intrarea antenei de recepție depășește pragul intensității câmpului din 2 direcții,  $E > E_{med} = 53 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ . În punctul de control 5 intensitatea câmpului la intrarea antenei de recepție depășește pragul intensității câmpului dintr-o direcție. Aceste date vorbește despre calitatea bună a semnalului în zona de servicii și planificarea corectă a rețelei.

3. Punctul de control cu numărul 3 se află în "zona de umbră", ceea ce este caracteristic condițiilor reliefului și landșaftului Republicii Moldova. Totodată, recepția semnalului a fost posibilă și în acest caz din direcția stației Strășeni, cu intensitatea câmpului  $E = 52 \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$ .

4. Este oportun de a compara indicii de calitate ai semnalului, recepționat în clusterul DVB-T2 SFN SISO prin intermediul antenelor cu diagrama circulară și direcțională.

Așadar, s-a luat decizia de a compara parametrii semnalului recepționat prin intermediul antenelor de referință cu diagramele circulară RSH 4786 și direcțională R&S HL 040. Pentru efectuarea măsurărilor s-a ales un punct de control amplasat pe o înălțime la ieșirea din or. Chișinău, având coordonatele geografice  $N46^{\circ}58'42.7''$  și  $E 28^{\circ}46'17.2''$ . Rezultatele măsurărilor sunt reprezentate în tabelele 4 – 6.

**Tabelul 4. Rezultatele măsurărilor în punctul numărul 7, antena de recepție R&S HL 040 orientată în direcția stației Hîncești (Stația 1 – emițătorul Hîncești, Stația 2 – emițătorul Strășeni)**

Parametrii tehnici	Stația 1 – On Stația 2 – Off	Stația 1 – On Stația 2 – On	Stația 1 – Off Stația 2 – On
U, dB( $\mu\text{V}$ )	54.5	54.9	31.4
MER, dB	34.2	32.6	-
C/N, dB	29.6	29.8	6.1
CBER	3.20E-04	2.50E-04	-
LBER	1.00E-08	1.00E-08	-

**Tabelul 5. Rezultatele măsurărilor în punctul cu numărul 7, antena de recepție R&S HL 040 orientată în direcția stației Strășeni (Stația 1 – emițătorul Strășeni, Stația 2 – emițătorul Hîncești)**

Parametrii tehnici	Stația 1 – On Stația 2 – Off	Stația 1 – On Stația 2 – On	Stația 1 – Off Stația 2 – On
U, dB( $\mu\text{V}$ )	55.5	55.4	32.2
MER, dB	29.1	28.8	-
C/N, dB	30.0	29.9	7.1
CBER	9.60E-04	1.10E-03	-
LBER	1.00E-09	1.00E-09	-

**Tabelul 6. Rezultatele măsurărilor în punctul numărul 7 cu antena circulară RSH 4786**

Parametrii tehnici	Stația 1 – On	Stația 1 – Off	Stația 1 – On
	Stația 2 – Off	Stația 2 – On	Stația 2 – On
U, dB( $\mu$ V)	45.8	48.2	51.6
MER	-	-	20.6
CBER	-	-	1.8e-2
LBER	-	-	1.0-8

În urma comparării indicilor de calitate ai semnalului recepționat prin intermediul antenei direcționale și antenei circulare au fost trase următoarele concluzii:

1. Drept urmare a utilizării pentru recepție a antenei circulare, indicii de calitate ai semnalului DVB-T2 recepționat au avut o dinamică negativă.

2. Utilizarea antenei cu diagrama circulară, pentru recepția semnalelor în clusterul DVB-T2 SFN SISO, nu permite a diminua efectul interferențelor reciproce ale semnalelor care ajung în punctul de recepție din diferite direcții.

**4. Simularea funcționării clusterului DVB-T2 SFN SISO în condiții de laborator** pentru o estimare mai detaliată a gradului și naturii interferențelor semnalelor în punctul de recepție. Astfel, în condiții de laborator a fost montat un set de echipamente care a simulat funcționarea unui cluster de emisie terestră DVB-T2 SFN SISO, canalul 22. Inițial, au fost măsurate indicii de calitate ai semnalului transmis în regimul  $T_x$  (de la ieșirea unuia dintre emițătorii). Rezultatele acestor măsurări au fost în continuare comparate cu rezultatele măsurătorilor efectuate în regimul SFN SISO (fiind incluși în lucru ambii emițătorii). Aplicarea a două semnale DVB-T2 la intrarea dispozitivului de măsurare ETL a făcut posibilă identificarea dinamicii schimbării parametrilor semnalului demodulat și decodat, în funcție de nivelurile și timpul de sosire ale acestora la intrarea receptorului.

În tabelul 7 sunt înscrise rezultatele selective ale măsurărilor în cazul când semnalul<sub>2</sub> ajunge la intrarea receptorului cu o întârziere de circa 100  $\mu$ s în raport cu semnalul<sub>1</sub>.

**Tabelul 7. Parametrii de calitate a semnalului DVB-T2 recepționat, Time offset 100 $\mu$ s**

Regimul	$T_x$	SFN				
		2	3	4	5	6
Parametrii	1					
Level <sub>(1+2)</sub>		-55.5	-48.2	51.6	49.1	-47.5
Level <sub>1</sub> , dBm	-49.7	-58.5	-48.8	-51.9	-49.2	-47.5
Level <sub>2</sub> , dBm		-58.5	-52.8	-57.9	-58.0	-58.2
$\Delta$ Level, dB		0	4.0	6.0	8.8	10.6
Time offset, $\mu$ s		-97.4	-97.7	-97.3	-97.4	-97.6
MER PLP rms, dB	41.5	27.3	33.6	36.7	38.0	38.6

Din datele înscrise în tabelul 7, observăm, că în regimul SFN la intrarea receptorului apar interferențe inter-simbol, intensitatea cărora semnificativ depinde de diferența dintre nivelurile semnalelor  $Level_1$  și  $Level_2$ . Așadar, putem concluziona că într-o rețea DVB-T2 SFN SISO nu este recomandabil a avea la intrarea receptorului semnale cu niveluri comparabile, deoarece în acest caz interferențele reciproce ale semnalelor sunt maximele și apare o probabilitate înaltă de degradare completă a semnalului recepționat. Totodată, analizând cazul  $\Delta$  Level = 0 dB din tabelul 7, observăm că valoarea sumară a nivelului semnalului Level<sub>(1+2)</sub> (dBm)

s-a ridicat cu 3 dB. Însă, în regimul de emisie SISO, această dublare a nivelului semnalului sumar nu este admisibilă, deoarece va conduce la degradarea completă a semnalului recepționat.

**5. Estimarea preciziei de prognozate a intensității câmpului** în condițiile reliefului și landșaftului RM, fiind comparate valorile intensității câmpului electromagnetic prognozate pentru 6 puncte de test, amplasate în zona de servicii Strășeni cu cele obținute în urma măsurărilor în teren (a se vedea tabelul 3). Toate calculele (prognozele) au fost efectuate în conformitate cu recomandările internaționale ITU-R P.370-7, ITU-R P.1546-5 și ITU-R P.1812-3 prin intermediul soft-ului specializat „ICS Telecom”.

Rezultatele finale ale cercetării sunt prezentate în tabelul 8, unde: **E** – valoarea măsurată al intensității câmpului în punctul de control; **E<sub>ITU-R</sub>** – valoarea prognozată al intensității câmpului în punctul de control.

**Tabelul 8. Estimarea preciziei de prognozare a intensității câmpului în zona de acoperire cu semnalul DVB-T2**

Definirea evenimentului	Numărul evenimentelor			
	$N_{P.370-7}$	$N_{P.1546-5}$	$N_{P.1812-3}$	$\sum N_P$
$ E_{ITU-R} - E  \leq 3 \text{ dB}$	2	5	6	13
$3 <  E_{ITU-R} - E  \leq 6 \text{ dB}$	3	2	2	7
$6 <  E_{ITU-R} - E  \leq 10 \text{ dB}$	4	1	1	6
$10 \text{ dB} <  E_{ITU-R} - E $	1	2	1	4

În urma estimării preciziei de prognozare a intensității câmpului efectuate în cadrul zonei de servicii Strășeni putem trage următoarele concluzii:

1. Modelele ITU-R P.1812-3 și ITU-R P.1546-5 au demonstrat o probabilitate de prognozare respectiv de 60% și 50% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 3 \text{ dB}$ . Acest șir de valori prognozate poate fi considerat aproape perfect, deoarece precizia lor poate fi comparată cu valoarea erorii de măsurare ( $\pm 2.5 \text{ dB}$ ).

2. Totodată, modelele ITU-R P.1812-3 și ITU-R P.1546-5 au demonstrat o probabilitate de prognozare respectiv de 80% și 70% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 6 \text{ dB}$ .

3. Modelul ITU-R P.370-7 a demonstrat o precizie de prognozare mai joasă (în raport cu modelele ITU-R P.1812-3 și ITU-R P.1546-5), și anume, probabilitatea de prognozare 20% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 3 \text{ dB}$ , probabilitatea de prognozare 50% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 6 \text{ dB}$ .

4. În condițiile reliefului și landșaftului RM, la prognozarea ariilor de acoperire cu semnal de televiziune digitală terestră, este necesar a utiliza două recomandări: ITU-R P.1546-5 și ITU-R P.1812-3. În acest caz, recomandarea ITU-R P.1546-5 va permite identificarea mai clară a presupuselor hotare ale ariei de acoperire proiectate, iar metoda ITU-R P.1812-3 va face posibilă dezvoltarea mai detaliată a presupuselor “zone de umbră”.

## CONCLUZII GENERALE ȘI RECOMANDĂRI

În concluziile generale sunt formulate rezultatele principale obținute în urma elaborării conceptuale și implementării primului multiplex de TDT în RM:

1. În procesul de elaborare conceptuală și implementare a rețelei de TDT în RM au fost efectuate un șir de testări și cercetări, cum ar fi: estimarea parametrilor de calitate ai semnalului recepționat în zona de servicii a multiplexului; estimarea condițiilor de recepție a semnalului într-o rețea digitală terestră cu o singură frecvență; elaborarea unor recomandări în vederea recepției optime a semnalului multiplexului; estimarea preciziei prognozării ariilor de acoperire cu semnal digital terestru în condițiile RM. În urma testărilor și cercetărilor s-a ajuns la următoarele concluzii:

1.1. Interferențele reciproce ale semnalelor informaționale într-o rețea terestră DVB-T2 SFN SISO practic sunt inevitabile. Ca urmare, parametrii de calitate ai semnalului recepționat au tendință spre deteriorare. Implementarea unui șir de măsuri tehnice ce țin de planificarea și implementarea rețelei, recepționarea corectă a semnalelor permit a minimiza efectul acestor interferențe în sistem.

1.2. Indicii de calitate ai semnalului recepționat într-o rețea DVB-T2 SFN SISO corelează vizibil cu diferența dintre nivelurile semnalelor ajunse la intrarea receptorului. În cazul în care la intrarea receptorului ajung două semnale cu aceleași niveluri, valoarea nivelului sumar de intrare crește cu 3 dB (în raport cu dBm). Totodată, în acest caz, are loc degradarea maximală a semnalului recepționat. Pe măsură ce diferența dintre nivelurile semnalelor de la intrarea receptorului crește, intensitatea interferențelor reciproce ale semnalelor scade.

1.3. Pentru recepția staționară a semnalului într-o rețea DVB-T2 SFN SISO se recomandă a utiliza o antenă direcțională cu multe elemente, care va fi strict orientată în direcția unde de cădere cu cea mai înaltă intensitate. Proprietățile direcționale ale antenei de recepție vor permite a diminua efectul interferențelor reciproce ale semnalelor rețelei parvenite din alte direcții.

1.4. În urma estimării preciziei de prognozare a intensității câmpului (în condițiile reliefului și landsaftului teritoriului RM) modelele ITU-R P.1812-3 și ITU-R P.1546-5 au demonstrat o probabilitate de prognozare respectiv de 60% și 50% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 3$  dB. Totodată, modelele ITU-R P.1812-3 și ITU-R P.1546-5 au demonstrat o probabilitate de prognozare respectiv de 80% și 70% în diapazonul valorilor de precizie  $|E_{ITU-R} - E| \leq 6$  dB.

1.5. În condițiile RM, pentru prognozarea ariilor de acoperire cu semnal de radiodifuziune terestru se recomandă a utiliza în comun recomandările ITU-R P. 1546 și ITU-R P. 1812. În acest caz, recomandarea ITU-R 1546 va permite a evidenția mai clar presupusele hotare ale ariei de acoperire, iar recomandarea ITU-R 1812 va permite a evidenția mai clar presupusele „zone de umbră”.

2. Pentru implementarea „MUX-A” au fost stabiliți următorii parametri de operare și configurare a sistemului: DVB-T2, Sistem B, SFN, SISO, Multi-PLP; lățimea de bandă a canalului 8 MHz; regimul frecvențelor purtătoare 32K extended; parametrii fluxului PLP\_0 - constelația semnalului QAM-16, viteza codului de protecție – 3/4; parametrii fluxului PLP\_1 - constelația semnalului QAM-256, viteza codului de protecție – 2/3; șablonul frecvențelor-pilot PP4; sistemul de codare H. 264. Capacitatea sistemului configurat constituie 30.1 Mb/s și permite a transmite 12 programe TV în format SD.

3. Pentru prognozarea ariilor de acoperire a „MUX-A” a fost selectată recomandarea internațională ITU-R P.1546. Totodată, a fost stabilită valoarea intensității minime mediane a

câmpului  $E_{\text{med}} = 54.7 \text{ dB}\mu\text{V/m}$  pentru frecvența 650 MHz. Proiectarea zonelor de acoperire cu semnalul DVB-T2 a fost efectuată pentru recepția fixă a semnalului, cu condiția suspendării antenei de recepție la o înălțime de 10 m de la suprafața solului.

4. În urma sintezei parametrilor de operare și configurare a sistemului au fost atinse următoarele obiective tehnice: funcționarea fiabilă a „MUX-A” în condițiile când semnalul ajunge în punctul de recepție din diferite direcții; utilizarea eficientă a spectrului frecvențelor radio; asigurarea capacității maxime a sistemului în cadrul setului parametrilor de configurare; ajustarea locurilor de amplasare a stațiilor de emisie terestră digitală la infrastructura rețelelor terestre existente.

5. „MUX-A” a fost construit în perioada anilor 2015-2019. În timpul construcției s-au implementat următoarele componente tehnice ale sistemului: stația de codare și multiplexare a conținutului audiovizual „Head End”; stația „T2 Gateway” de generare a fluxului digital T2-MI; rețeaua IP de distribuție a fluxului digital T2-MI; 6 rețele DVB-T2 SFN SISO (zonele de servicii Edineț, Mândreștii Noi, Trifești, Strășeni, Căușeni, cluster Cahul); elementele de sincronizare a multiplexului. Pentru implementarea rețelelor DVB-T2 SFN SISO pe infrastructura rețelelor terestre existente s-au construit 23 site-uri de emisie digitală terestră de putere mare, medie și mică.

Așadar, în prima etapă de construcție a multiplexului național de TDT a fost asigurat accesul la semnalul DVB-T2 a 95% din populația țării.

6. În următoarea etapă de construcție „MUX-A” a fost necesar a extinde semnalul DVB-T2 în “zonele de umbră”. În acest scop, a fost cercetată posibilitatea utilizării pentru emisia semnalului în “zonele de umbră” a retranslatoarelor specializate de tipul  $f_1/f_1$ , așa-numitele Gap Fillere. În urma cercetărilor s-a demonstrat că în “zonele de umbră” ale RM aplicarea Gap Fillerelor pe infrastructura existentă a Î.S. „Radiocomunicații” nu este posibilă din următoarele motive:

a) în „zonele de umbră” trebuie folosite antene omnidirecționale de emisie, iar (în acest caz) nivelul corespunzător de izolare a semnalului poate fi asigurat numai prin majorarea distanței pe verticală dintre antenele de recepție și emisie;

b) nivelul adecvat de izolare a semnalului nu poate fi asigurat din cauza înălțimii reduse a pilonilor existenți  $H = 27 \text{ m}$ ;

c) din cauza nivelului mic al semnalului de la intrarea antenei de recepție va fi complicat a reduce raportul ecou/semnal la intrarea Gap Filler-ului.

7. În urma cercetărilor a fost propusă o metodă alternativă de emisie a semnalului în “zonele de umbră” ale RM. S-a propus: a folosi infrastructura rețelelor de fibră optică existente pentru transmiterea fluxului de date T2-MI până la intrarea antenelor DVB-T2. Aplicarea practică a acestei propunerii a permis a elimina Gap Filler-ele, iar emisia semnalului DVB-T2 a fost organizată prin intermediul emițătoarelor de mică putere, care sunt cu cca 30% mai ieftine decât Gap Filler-ul. În consecință, a dispărut necesitatea de a reconstrui pilonii existenți  $H = 27 \text{ m}$  sau de a construi piloni noi cu înălțimea de circa 40-50 m. Luând în considerație că în “zonele de umbră” amplasate în lunca râurilor Prut, Răut și Nistru au trebuit instalate cca 60 de stații DVB-T2, cheltuielile operaționale și timpul necesare pentru finalizarea procesului de implementare a „MUX-A” s-au redus semnificativ (la maxim).

8. Începând cu luna iunie 2022, s-a inițiat construcția stațiilor de emisie digitală terestră în “zonele de umbră”. La finele anului 2022 au fost instalate 30 de emițătoare de mică putere. În primul semestru al anului 2023 au fost construite încă 30 de amplasamente. Accesul populației la serviciile noi de TD a atins valoarea de cca 99% din teritoriul țării și 99% din populația țării.

9. Utilizarea rețelelor IP pentru furnizarea semnalului de intrare T2-MI în „zonele de umbră” a permis (simultan cu emisia semnalului DVB-T2) a monitoriza la distanță parametrii

tehnicii ai emițătoarelor DVB-T2, precum și monitorizarea video a stațiilor de emisie digitală de mică putere.

10. Folosirea infrastructurii rețelelor terestre existente pentru construcția „MUX-A” a permis de a reduce în mod semnificativ (la maxim) cheltuielile operaționale și timpul necesar pentru implementarea proiectului. Au fost atinse obiectivele generale ale cercetării – elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de televiziune digitală terestră în Republica Moldova eficientă din punct de vedere tehnic, tehnologic și economic.

## BIBLIOGRAFIE

1. *International Telecommunication Union*. Final Acts of the Regional Radiocommunication Conference for planning of the digital terrestrial broadcasting service in parts of Regions 1 and 3, in the frequency bands 174-230 MHz and 470-862 MHz (RRC-06), pp.1, 6, 24, 72, 73-74, 80, 107-188.
2. *Справочник по внедрению сетей и систем цифрового наземного телевизионного вещания*. Издание 2016 года, МСЭ-R, сс. 1-6, 13, 17, 21-22, 24, 28-29, 31, 33-34, 37.
3. ЛОКШИН, Б.А. *Цифровое вещание: от студии к зрителю*. Москва: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 2001, pp. 33-34, 77, 95-102, 108-112, 117-118, 132-137, 143-144, 149-150, 156,161-164, 166-173. ISBN: 5-88230-049-5.
4. *European Standard ETSI EN 300 744 V1.6.2 (2015-10)*. Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television.
5. FISCHER, Walter. *Digital Video and Audio Broadcasting Technology. A practical Engineering Guide*. Third Edition. DOI 10.1007/978-3-642-11612-4. Springer Heidelberg Dordrecht London New York. © Springer-Verlag Heidelberg Berlin Heidelberg 2003, 2007, 2010, p. 242, 31-34, 38-41, 136-139, 145-146, 347-354, 360-362, 424, 496, 612-613, 687-727. ISSN 1860-4862; ISBN 978-3-642-11612-4.
6. ЯКОБ, М.И., ДЕМЧУК, Ю.И., АВРАМ, И.А. *Сравнительная оценка качественных показателей принятого сигнала в зоне обслуживания одночастотной сети DVB-T2*. Digital Technologies: Collection / Ucr. Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications, 2017, No. 21, pp. 116-128. ISSN 2307-9754.
7. Legea nr. 69-XVI din 27 martie 2008. Art.247. In: *Monitorul Oficial al Republicii Moldova*, nr. 74-75, 2008.
8. *Pentru aprobarea Programului privind tranziția de la televiziunea analogică terestră la cea digitală terestră*. Hotărârea Guvernului Republicii Moldova nr.240 din 08.05.2015. Art. 352. In: *Monitorul Oficial*, 05.06.2015, nr. 139-143.
9. Hotărâre nr.52 din 01.02.2017 privind modificarea și completarea Anexei nr. 1 la Hotărârea Guvernului nr. 240 din 8 mai 2015, Art. 91. In: *Monitorul Oficial*, nr. 30-39, 03.02.2017.
10. ETSI TS 102 773 V1.4.1 (2016-03). Digital Video Broadcasting (DVB); Modulator Interface (T2-MI) for a second generation digital terrestrial television broadcasting system.
11. ETSI TS 102 831 V1.1.1 (2010-10). Technical Specification Digital Video Broadcasting (DVB); Implementation guidelines for a second generation digital terrestrial television broadcasting system (DVB-T2), p.18.
12. Рекомендация МСЭ-R P.1546-4 (10/2009): *Метод прогнозирования для трасс связи „пункта с зоной” для наземных служб в диапазоне частот от 30 до 3000 МГц*. Серия Р, Распространение радиоволн.
13. Рекомендация МСЭ-R P.1812-4 (07/2015): *Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб „из пункта в зону” в диапазонах частот УВЧ и ОВЧ*. Серия Р, Распространение радиоволн.
14. ИАСОВ, М., Demciuc, Iu., Avram, I. *Конфигурация технических параметров одночастотных DVB-T2 сетей*. Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции „Технологии информационного общества”. Москва: МТУСИ, 20-21 марта 2019 г., том 1, pp.190-194.



15. КАРЯКИН, В.Л. Фазовая синхронизация информационного сигнала в передатчиках одночастотных сетей цифрового ТВ вещания стандарта DVB-T2. In: *Телекоммуникации и транспорт*, № 8, 2014, с.52.
16. *Report ITU-R BT.2254-3 (03/2017)*, Frequency and network planning aspects of DVB-T2, BT Series Broadcasting service (television).
17. МАМЧЕВ, Г.В. *Особенности функционирования синхронной региональной сети эфирного цифрового телерадиовещания*. Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, УДК 621.397.6, 2012, р. 64.
18. **IACOB, M.** *The Choice of DVB-T2 Signal Transmission Technology in The Shadow Areas of The Republic of Moldova*. Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing, 20-21 October 2022, Chisinau, Republic of Moldova. ISBN 978-9975-45-898-6.
19. 1326 Journal of Internet Technology, Volume 21 (2020) No.5, An Efficient Filtering Technique of Gap Filler System for Multi-standards Digital Terrestrial TV in an SFN, El Miloud Ar-Reyouchi.
20. Site-ul oficial Elenos Group, The Technological Leadership of the Elenos Group: Echo Cancellation: You have Gaps, we have answers! <https://www.elenos.com/ru/elenos-world/echo-cancellation-elenos-technological-leadership/>, accesat 03.06.2024.
21. **IACOB, Mihail**, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Parameters Estimation of Received Signal In Single-Frequency Network DVB-T2. Technical University of Moldova. In: *Journal of Engineering Science*, September, 2020, vol.XXVII (3), pp.90-101. ISSN 2587-3474.
22. ETSI TR 101 290 V1.2.1 (2001-05). Digital Video Broadcasting (DVB); Measurement guidelines for DVB systems.

## LISTA PUBLICAȚIILOR AUTORULUI LA TEMA TEZEI

### În reviste internaționale:

1. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. The Transition of the Republic of Moldova to Digital Terrestrial Television.** *Digital Technologies: Collection / Ukr., Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications*, 2016, No. 20, pp. 97-104. ISSN 2307-9754.
2. **ЯКОБ, М.И., ДЕМЧУК, Ю.И., АВРАМ, И.А. Сравнительная оценка качественных показателей принятого сигнала в зоне обслуживания одночастотной сети DVB-T2.** *Digital Technologies: Collection / Ukr., Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications*, 2017, No. 21, pp. 116-128. ISSN 2307-9754.
3. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu. Practical Experience in the Configuration and Implementation of SFN DVB-T2 Clusters in the Republic of Moldova.** *Digital Technologies: Collection / Ukr., Odessa: O.S. Popov Odessa National Academy of Telecommunications*, 2018, No. 23, pp. 104-117. ISSN 2307-9754.
4. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Parameters Estimation of Received Signal In Single-Frequency Network DVB-T2.** *Technical University of Moldova, Journal of Engineering Science, September*, vol.XXVII (3), 2020, pp.90-101. ISSN 2587-3474.
5. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Particularities of the Implementation of Terrestrial Digital Television in the Republic of Moldova.** *Technical University of Moldova, Journal of Engineering Science, December*, vol.XXVII (4), 2020, pp.55-64. ISSN 2587-3474.

### Materiale/teze la foruri științifice

#### Conferințe internaționale în alte țări

6. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Выбор рекомендаций МСЭ-R для прогноза зон покрытия сигналом DVB-T2.** In: *Сборник трудов XII Международной научно-технической конференции „Технологии информационного общества”*. Том 1. Москва: МТУСИ, 14-15 марта 2018 г., сс.160-162.
7. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Comparative Evaluation of Received Signal Parametr in SFN DVB-T2 Service Area.** *Proceedings of the International Conference: 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO), 4-5 July 2018, Belarusian State Academy of Communications, Belarus, Minsk. IEEE Xplore Digital Library, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8456937>*, pp. 1-6. ISBN 978-1-5386-6474-2.
8. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie, AVRAM, Ion. Конфигурация технических параметров одночастотных DVB-T2 сетей.** In: *Сборник трудов XIII Международной научно-технической конференции „Технологии информационного общества”*. Том 1, Москва: МТУСИ, 20-21 марта 2019, сс.190-194.
9. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu. Practical Assessment of the Total Field Strength at the Receiving Point of the Synchronous DVB-T2 Network.** *Proceedings of the 22th International Conference: 2019 Wave Electronics and Its Application in Information and Telecommunication Systems, 03-07 June 2019, St. Petersburg, State University of Aerospace Instrumentation (SUAI), Russia, St.-Petersburg, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8840656>*, pp.1-9. ISBN 978-1-7281-2288-5.
- 10 **IACOB, M., DEMCIUC, Iu. Elements of Synchronous DVB-T2 Network.** *Proceedings of the International Conference: 2019 Systems Of Signal Synchronization, Generating And Processing In Telecommunications (SYNCHROINFO), 01-03 July 2019 P.G.*

Demidov Yaroslavl State University, Russia, Yaroslavl, Xplore Digital Library, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8814170>, pp.1-7. ISBN 978-1-7281-3238-9.

#### **Conferințe internaționale în Republica Moldova**

11. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Selectarea modelului de calcul și proiectarea rețelei DVBT-2 în Republica Moldova.** *Proceedings of the 9th International Conference „Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of „Physicists of Moldova”: The 50th anniversary of Computers, Informatics and Microelectronics Faculty & Telecommunications Faculty*, October 19-21, 2017, Chișinău, Moldova, pp. 171-176. ISBN 978-9975-4264-8-0.

12. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., C. BELENIUC, I. AVRAM. Trecerea Republicii Moldova la televiziunea digitală terestră – un imperativ al timpului.** *Proceedings of the 9th International Conference „Microelectronics and Computer Science” & The 6th Conference of „Physicists of Moldova”: The 50th anniversary of Computers, Informatics and Microelectronics Faculty & Telecommunications Faculty*, October 19-21, 2017, Chișinău, Moldova, pp. 340-343. ISBN 978-9975-4264-8-0.

13. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Laboratorul de televiziune digitală din cadrul UTM.** *Proceedings of the 6th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics*, May 24-27, 2018, Chișinău, Moldova, pp.176-178. ISBN 978-9975-45-540-4.

14. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Estimarea valorilor prognozate ale intensității câmpului în zona de acoperire cu semnal DVB-T2.** *Proceedings of the 6th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics*, May 24-27, 2018, Chișinău, Moldova, pp.179-184. ISBN 978-9975-45-540-4.

15. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Сравнительная оценка качественных показателей принятого DVB-T2 сигнала в SFN сети.** *Proceedings of the 6th International Conference on Telecommunications, Electronics and Informatics*, May 24-27, 2018, Chișinău, Moldova, pp.185-190. ISBN 978-9975-45-540-4.

16. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Particularities of the Implementation of Terrestrial Digital Television in the Republic of Moldova, Abstract.** *Proceedings of the 10th International Conference on Electronics, Communications and Computing*, Chișinău, Republic of Moldova, October, 23-26, 2019, pp. 81. ISBN 978-9975-108-84-3.

17 **IACOB, M., DEMCIUC, Iu., AVRAM, I. Estimation of Parameters of a Received Signal in a Single-frequency Network DVB-T2.** Abstract. *Proceedings of the 10th International Conference on Electronics, Communications and Computing*, Chișinău, Republic of Moldova, October, 23-26, 2019, pp. 82. ISBN 978-9975-108-84-3.

18. **IACOB, Mihail, DEMCIUC, Yurie. Research Opportunity To Estimate The Energy Gain Of The Received Signal Of The Cluster DVB-T2 SFN SIS0.** *Proceedings of the 11th International Conference on Electronics, Communications and Computing*, 21-22 October, 2021, Chisinau, Republic of Moldova, pp. 224. ISBN 978-9975-45-776-7.

19. **MIHAIL, I., IACOB. The Choice of DVB-T2 Signal Transmission Technology in The Shadow Areas of The Republic of Moldova.** *Proceedings of the 12th International Conference on Electronics, Communications and Computing*, 20-21 October, 2022, Chisinau, Republic of Moldova. ISBN 978-9975-45-898-6.

#### **Conferințe naționale**

20. **IACOB, M., DEMCIUC, Iu. Elemente de sincronizare a semnalului informațional în rețelele DVB-T2 cu o singură frecvență.** *Lucrările Conferinței tehnico-științifice a studenților, masteranzilor și doctoranzilor, Secția Electronică și Telecomunicații*, 26-29 martie 2019. Volumul I, pp.4-7. Chișinău, Moldova. ISBN 978-9975-45-588-6.

## ADNOTARE

la teza *Elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de televiziune digitală terestră în Republica Moldova* prezentată de Iacob Mihail pentru conferirea gradului de doctor în științe ingineresti la specialitatea 231.02 „Ingineria și tehnologia comunicațiilor electronice”.

**Structura tezei:** este constituită din introducere, 3 capitole, concluzii generale, bibliografie (114 titluri), 8 anexe inserate în 138 pagini text de bază, 56 tabele, 118 figuri. Rezultatele cercetării au fost publicate în 20 de publicații științifice.

**Cuvinte-cheie:** televiziune digitală terestră, DVB-T, DVB-T2, T2 Gateway, MFN, SFN, SISO, „System A”, „System B”, „PLP”, „multi-PLP”, „Single PLP”, T2-Frame, T2-MI, COFDM, zona de servicii, „zonă de umbră”, ITU-R P.1546, ITU-R P.1812, MER, BER, CBER, LBER, C/N, Gap Filler.

**Domeniul de studiu:** televiziunea digitală terestră.

**Scopul tezei:** elaborarea conceptuală și implementarea rețelei de televiziune digitală terestră în Republica Moldova.

**Obiectivele de cercetare.** Selectarea modelului de prognozare a intensității câmpului; elaborarea parametrilor de operare și configurare a sistemului; prognozarea intensității câmpului; sinteza tehnologiei de emisie a semnalului în „zonele de umbră”; implementarea multiplexului național; testarea parametrilor de calitate ai semnalului; elaborarea recomandărilor în vederea recepționării optimale a semnalului și diminuării interferențelor în sistem; estimarea preciziei de prognozare a intensității câmpului.

**Noutatea și originalitatea științifică.** În premieră a fost propusă o metodă nouă de estimare indirectă a interferențelor inter-simbol în sistemul DVB-T2 SFN SISO și modul de diminuare a acestora la intrarea receptorului; a fost propusă și implementată o metodă alternativă de emisie a semnalului DVB-T2 în „zonele de umbră” ale rețelei proiectate; a fost estimată precizia de prognozare a intensității câmpului în condițiile reliefului și landsaftului Republicii Moldova.

**Problema științifică soluționată.** Au fost elaborate reperele conceptuale ale rețelei de televiziune digitală terestră în Republica Moldova, aplicarea cărora a permis a implementa primul multiplex național pe baza infrastructurii rețelelor terestre existente ce aparțin Î.S. „Radiocomunicații”, operator național în domeniul radiodifuziunii terestre.

**Semnificația teoretică și aplicativă.** A fost demonstrată necesitatea aplicării în sistem a antenelor de recepție direcționale orientate în direcția unde de cădere cu cea mai înaltă intensitate; a fost propusă și implementată tehnologia de emisie a semnalului digital în zonele de umbră ale Republicii Moldova, adaptată la infrastructura rețelelor terestre existente (rețele fibro-optice, piloane H = 27 m); a fost demonstrată oportunitatea aplicării modelelor ITU-R P.1812 și ITU-R P.1546 pentru prognozarea intensității câmpului în condițiile Republicii Moldova.

## ANNOTATION

*for the thesis "Conceptual development and implementation of the terrestrial digital television network in the Republic of Moldova", presented by Iacob Mihail for the conferral of the degree of Doctor in engineering sciences in the specialty 231.02 " Electronic Communications Engineering and Technology".*

**The structure of the thesis:** It consists of introduction, 3 chapters, general conclusions, bibliography of 114 of titles, 8 appendices, 138 text pages, 56 tables and 118 figures. The research results were published in 20 of scientific publications.

**Keywords:** digital terrestrial television, DVB-T, DVB-T2, T2 Gateway, MFN, SFN, SISO, „System A”, „System B”, „PLP”, „Multi PLP”, „Single PLP”, T2-Frame, T2-MI, COFDM, service area, shadow area, ITU-R P.1546, ITU-R P.1812, MER, BER, CBER, LBER, C/N, Gap Filler.

**Research field:** digital terrestrial television.

**The purpose of the thesis:** Conceptual development and implementation of the digital terrestrial television network in the Republic of Moldova.

**The objectives:** Field strength forecasting; elaboration of system configuration parameters; synthesis of signal emission technology in shadow areas; implementation of the multiplex; testing signal parameters; development of recommendations for optimal reception of the signal and reduction of interference in the system; evaluation of the accuracy of field prediction.

**Scientific novelty and originality:** For the first time, a method was proposed for indirect estimation of inter-symbol interferences in the DVB-T2 SFN SISO system and how to reduce them at the receiver input; an alternative broadcast to the DVB-T2 signal was proposed and implemented in the shadow area of the projected network; the forecasting accuracy of the field intensity was estimated for the relief and landscape conditions of the Republic of Moldova.

**The scientific problem solved:** The conceptual benchmarks of the terrestrial digital television network in the Republic of Moldova were developed, the application of which allowed to implement the first national multiplex based on the infrastructure of the existing terrestrial networks belonging to S.E. "Radiocommunications", national operator in the field of terrestrial broadcasting.

**Theoretical and practical importance:** The necessity of applying directional receiving antennas in the system, oriented in the direction of the incident wave with the highest intensity, was demonstrated; digital signal emission technology was proposed and implemented in the shadow areas of the Republic of Moldova, adapted to the infrastructure of existing terrestrial networks (fiber-optic networks, H = 27 m pylons); the feasibility of applying the ITU-R P.1812 and ITU-R P.1546 models for field intensity forecasting was demonstrated.

## АННОТАЦИЯ

*диссертации „Концептуальная разработка и внедрение сети наземного телевизионного вещания в Республике Молдова”, представленную Якобом Михаилом на соискание ученой степени доктора инженерных наук по специальности 231.02 „Инженерия и технология электронных коммуникаций”.*

**Структура диссертации:** состоит из введения, 3 глав, общих выводов, библиографии 114 названий, 8 приложений, 138 текстовых страниц, 56 таблиц и 118 рисунков. Результаты исследования были опубликованы в 20 научных публикациях.

**Ключевые слова:** цифровое наземное телевидение, DVB-T, DVB-T2, T2 Gateway, MFN, SFN, SISO, „System A”, „System B”, „PLP”, „Multi PLP”, „Single PLP”, T2-Frame, T2-MI, COFDM, зона обслуживания, теньевая зона, ITU-R P.1546, ITU-R P.1812, MER, BER, CBER, LBER, C/N, Gap Filler.

**Область исследований:** цифровое наземное телевидение.

**Цель диссертации:** Концептуальная разработка и внедрение сети цифрового наземного телевидения в Республике Молдова.

**Задачи работы:** Выбор модели расчета напряженности поля; разработка режимов работы и конфигурации системы; прогнозирование интенсивности поля; выбор технологии трансляции сигналов в теньевых зонах; внедрение национального мультиплекса; тестирование параметров сигнала; разработка рекомендаций по оптимальному приему сигнала и снижению помех в системе; оценка точности прогноза напряженности поля.

**Научная новизна и оригинальность:** Впервые предложен метод косвенной оценки межсимвольных помех в сети DVB-T2 SFN SISO и способы их уменьшения на входе приемника; предложен и реализован альтернативный способ трансляции сигнала в теньевых зонах проектируемой сети; проведена оценка точности прогнозирования напряженности поля для рельефно-ландшафтных условий Республики Молдова.

**Решенная научная задача:** Выполнена концептуальная разработка сети наземного цифрового вещания в Республике Молдова, что позволило построить первый национальный мультиплекс на базе инфраструктуры существующих наземных сетей, принадлежащих Г.П. „Радиокоммуникаций”.

**Теоретическая значимость и прикладная ценность работы:** Показана необходимость применения в сети направленных приемных антенн, ориентированных в направлении направлении наиболее мощного сигнала; предложена и внедрена технология вещания в теньевых зонах, адаптированная к существующей наземной инфраструктуре (волоконно-оптические сети, опоры  $H=27$  м); показана целесообразность применения моделей ITU-R P.1812 и ITU-R P.1546 для прогнозирования напряженности поля.

**IACOB Mihail**

**ELABORAREA CONCEPTUALĂ ȘI IMPLEMENTAREA REȚELEI DE  
TELEVIZIUNE DIGITALĂ TERESTRĂ ÎN REPUBLICA MOLDOVA**

**231.02 Ingineria și tehnologia comunicațiilor electronice**

Rezumatul tezei de doctor în științe inginerești

---

Aprobat spre tipar: 27.01.25

Formatul hârtiei 60x84 1/16

Hârtie ofset. Tipar RISO

Tiraj 50 ex.

Coli de tipar: 2,0

Comanda nr.35

---

UTM, 2025. Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168, UTM  
MD 2045, Chișinău, str. Studenților 9/9, Editura “Tehnica-UTM”

@UTM 2025