

DESPRE ASIGURAREA EFICIENȚEI DE FUNCȚIONARE A REȚELELOR DE COMUNICAȚII RADIO

Alexandru PRETCU

Departamentul Telecomunicații și Sisteme Electronice, grupa TST-211,
Facultatea Electronică și Telecomunicații, Universitatea Tehnică a Moldovei, Chișinău, Rep. Moldova

Autorul corespondent: Alexandru Pretcu, e-mail: alexandru.pretcu@tse.utm.md

Îndrumător/coordonator științific: **Pavel Nistiriuc**, dr., conf. univ., FET, UTM.

Rezumat. În prezenta lucrare sunt cercetate subiectele privind estimarea criteriilor de compatibilitate electromagnetică al rețelelor de comunicații mobile, determinarea datelor inițiale pentru optimizarea stațiilor terestre în cadrul comunicațiilor prin satelit, sporirea certitudinii la recepția informației digitale în sistemele de comunicații prin satelit și determinarea metodei de evaluare a sistemelor de control invariante din cadrul rețelelor de comunicații radio.

Cuvinte cheie: rețele de comunicații radio, compatibilitate electromagnetică, optimizarea stațiilor terestre, certitudinea la recepția informației digitale, sisteme de control invariante.

Introducere

În prezent, pentru a spori eficiența de exploatare, operare, administrare și mentenanța a rețelelor de comunicații radio terestre și a rețelelor de comunicații prin satelit este foarte important de a analiza diferite criterii de estimare a compatibilității electromagnetice pentru rețelele de comunicații radio cu acces de bandă largă și metodologia de calcul a fiecărui dintre ele. La fel este foarte important de a determina datele inițiale de optimizare a stațiilor terestre și metodele de sporire a certitudinii la recepția informației digitale în rețelele de comunicații prin satelit.

Principiile de planificare, construire, funcționare și mentenanța a rețelei de control cu comunicațiile TMN (Telecommunication Management Network) sunt determinate în Recomandarea ITU-T M.3010 și constituie o bază importantă pentru elaborarea sistemelor de control la interconectarea rețelelor de comunicații. Sistemele de control automatizate pentru rețelele de comunicații digitale a unui operator trebuie să soluționeze un set de obiective legate de planificarea, punere în funcțiune, întreținere, recuperare, furnizarea serviciilor de comunicații, decontări cu utilizatorii luând în considerare interacțiunea necesară cu operatorii altor rețele de comunicații.

Estimarea criteriilor de compatibilitate electromagnetică a rețelelor de comunicații mobile.

Actualmente se manifestă o sporire esențială a numărului de rețele de comunicații radio în intervalul de frecvență 2400-2800 MHz, ce conduce la suprasaturarea lui. Deși standardul IEEE 802.11 [1] conține un număr mare de tipuri de adaptări ale semnalului, ceea ce contribuie la supraviețuirea ridicată a sistemului, iar atunci când resursa de frecvență este reutilizată, pot apărea interferențe reciproce semnificative care vor reduce calitatea comunicațiilor.

Pentru funcționarea eficientă a rețelelor de comunicații radio se efectuează reglementarea activității operatorilor, adică la punere în funcțiune a stațiilor de bază, se efectuează estimarea compatibilității electromagnetice a lor cu stațiile de bază deja existente. Prin urmare, selectarea corectă a criteriului de estimare a compatibilității electromagnetice va permite să utilizăm mai eficient resursa de frecvență și să evităm numărul total de interferențe create de mijloacele electronice radio.

Estimarea compatibilității electromagnetice a rețelelor de comunicații radio poate fi efectuată în baza următoarelor criterii:

Nivelul puterii zgomotului P_{zg} la intrarea stației de bază;

Sporirea pragului sensibilității TD (Threshold Degradation) receptorului stației de bază din componența rețelelor de comunicații radio;

Reduceri capacității de transfer a rețelei ΔR .

Calculul nivelului puterii zgomotului P_{zg} la intrarea stației de bază se efectuează conform expresiei:

$$P_{zg} = P_e + G_e - L_e - L_{te} + G_r - L_r - P_r - IRF, \quad (1)$$

unde P_e este nivelul puterii emițătorului; G_e – câștigul antenei de emisie; L_e , L_r – pierderile în liniile de transmisiune corespunzător a emițătorului și receptorului; L_{te} – pierderile în traficul de linie aerian; G_r – câștigul antenei de recepție; IRF – coeficientul de protecție condiționat de caracteristica de radiație a antenelor și de caracteristica filtrelor de recepție.

Calculul pierderilor în traficul de linie aerian L_{te} se efectuează în conformitate cu Recomandările ITU-R P.452; P.525 și P.526 [2-4], luând în considerare mecanismele de difracție, ghid de undă a atmosferei și a troposferei pentru traficul de linie închis și modelul Line-of-Sight pentru traficul de linie deschis. Protocolul de timp este normat de organizația de reglementare în domeniul comunicațiilor radio și se selectează din intervalul 0,01 – 1,0 %.

Sporirea pragului de sensibilitate TD a receptorului stației de bază din componența rețelelor de comunicații radio se determină reieșind din relația:

$$TD = \lg[10^{(P_{zg}/10)} + 10^{(P_{zgpr}/10)}] - P_{zgpr}, \quad (2)$$

unde P_{zgpr} este nivelul puterii zgomotului propriu al receptorului stației de bază.

Reducerea capacității de transfer a rețelei de comunicații radio ΔR poate fi estimată, când se cunoaște locația abonaților, activitatea acestora și rata de schimb a lor cu stația de bază. În cazul dat se calculează nivelul puterii zgomotului P_{zg} , care conduce la recepția eronată a pachetelor de date și totodată se determină și nivelul puterii semnalului util. În continuare, prin intermediul expresiei (1.1) vom determina pierderile în traficul de linie aerian și obținem procentul de timp în decursul căruia pachetele vor fi recepționate eronat. Astfel, reducerea capacității de transfer în rețelele de comunicații radio poate fi calculată conform expresiei:

$$\Delta R = \sum a_i R_i - \sum a_i R_i (100 - p_i) \quad (3)$$

unde R_i este viteza de schimb a informației dintre stația de bază și abonatul i ; a_i – activitatea abonatului i ; p_i – procentul timpului de staționare a abonatului i .

Toate criteriile nenumărate mai sus sunt corelate însă deoarece locația abonatului este incertă, a estima reducerea capacității de transfer a informației în rețelele de comunicații radio este imposibil. Prin urmare cel mai frecvent în calitate de criteriu este comod de a selecta TD, deoarece acest indice este legat atât cu sensibilitatea echipamentului cât și cu nivelul puterii zgomotului.

Dificultatea constă în selectarea valorii concrete a criteriului TD în baza căruia vor fi determinate condițiile de îndeplinire sau de ne îndeplinire a compatibilității electromagnetice a rețelelor de comunicații radio. La selectarea valorii de limită a criteriului TD este necesar de a lua în considerare următorii factori:

În sistemele de comunicații radio pot fi utilizate divizarea în timp a emisie/recepției și prin urmare stația de bază poate interfera cu însuși stația de bază;

- frecvent între două stații de bază pot fi utilizate antenele cu diagramele de radiație circulare;

- pentru valoare de limită sporită a criteriului TD zona de deservire de către stația de bază va fi redusă din cauza influenței interferențelor însă distanța admisibilă între două stații ce interferează poate fi redusă și ca urmare pe un teritoriu limitat pot funcționa un număr sporit de stații;
- pentru valoarea de limită redusă a criteriului TD, stația de bază va crea interferențe minore și ca urmare zona de deservire din jurul stației nu se va reduce, însă numărul reutilizărilor de frecvență va fi mai mic.

A fost efectuată estimarea numerică a distanței d dintre stațiile ce interferează și dimensiunii zonei de deservire D pentru diferite valori a criteriului TD care sunt sistematizate în tabelul 1.

Tabelul 1.

Rezultatele calculelor parametrilor d și D pentru diferite valori TD.

TD, dB	3			20			30			40		
R, Mbps	11	5,5	1	11	5,5	1	11	5,5	1	11	5,5	1
D, Km	31	49	87	4,3	6,9	12	1,3	2,2	3,9	0,44	0,7	1,24
D, Km	390			39			12			3,9		

Pentru efectuarea calculelor au fost utilizate Recomandările ITU-R P.452 [2] – pentru interferențe și ITU-R P. 525 [3] – pentru semnalul informațional. Parametrii echipamentului au fost selectați reieșind din valorile tipice, după cum urmează:

- nivelul puterii emițătorului $p_e = 20 dB$;
- câștigul antenei de emisie $G_e = 16 dB$;
- nivelul puterii la recepție $p_r = 12 dB$;
- câștigul antenei la recepție $G_r = 20 dB$;
- nivelul puterii zgomotului propriu al receptorului $p_{zg\ pr} = -97 dB$.

Determinarea datelor inițiale pentru optimizarea stațiilor terestre în cadrul comunicațiilor prin satelit

Un obiectiv important la proiectarea sistemelor de comunicații prin satelit este determinarea relațiilor dintre parametri și indicii necesari privind calitatea de transmisiune a informației. Deoarece parametrii de energie a sistemului de bord din cadrul satelitului sunt deja prescriși, astfel este necesar de a determina atare caracteristici de energie a stației terestre (factorul de calitate a zgomotului și puterea de radiație izotropică echivalentă EIRP (Equivalent Isotropic Radiated Power)), care vor asigura indicii de calitate prescriși la transmisiunea informației, după cum sunt viteza de transmisiune a informației și certitudinea la recepția simbolurilor.

Datele inițiale pentru determinarea parametrilor optimi a stației terestre (diametrul antenei, temperatura de zgomot echivalentă a receptorului și puterea de emisie a emițătorului) sunt EIRP E_{ST} a stației de emisie și factorul de calitate a zgomotului Q_{ST} la recepție [5], care la rândul său sunt determinate de EIRP E_B și factorul de calitate a zgomotului pentru sistemul de bord din cadrul satelitului și la fel de indicii de calitate la transmisiunea informației (viteza de transmisiune a informației și probabilitatea erorii de bit).

Vom considera că sunt cunoscuți următorii parametri a rețelei de comunicații satelit:

- Zona de deservire a suprafeței terestre (coordonatele de locație a stației terestre);
- Valoarea EIRP pentru sistemul de bord a satelitului în zona de deservire prescrișă și la fel factorul de calitate a zgomotului Q_B ;
- Capacitatea de transfer garantată R (valoarea vitezei de transmisiune a informației);
- Certitudinea: probabilitatea erorii de bit P_B ;
- Tipul modulației: BPSK; Tipul zgomotului în canalul de comunicații prin satelit: aditiv cu distribuție Gauss.

Reieșind din cele menționate mai sus, au fost determinat următorul obiectiv: de determinat EIRP și factorul de calitate a zgomotului pentru stația terestră cu condiția, că sunt

cunoscuți parametrii de energie a sistemului de bord a satelitelui E_B și Q_B și calitatea prescrisă de transmisiune a informației (R și P_B). Probabilitatea erorii de bit este determinată de raportul semnal/zgomot la intrarea modulatorului [6]:

$$\hbar^2 = E_b/N_0 \quad (4)$$

unde E_b este energia ce se conține într-un bit de informație, J N_0 – densitatea spectrală a zgomotului, J .

Deoarece în canalul de comunicații prin satelit acționează numai zgomotul aditiv cu distribuție Gauss și se utilizează modulația bipolară BPSK, atunci probabilitatea erorii de bit poate fi exprimată prin relația [5]:

$$P_B = Q(x) \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}} \quad (5)$$

unde $Q(x)$ este integralul Gauss al erorii. În baza valori probabilității erorii de bit poate fi determinată valoarea raportului semnal/zgomot E_b/N_0 , care poate fi transcris sub forma:

$$\hbar^2 = \frac{E_b}{N_0} = (P_r \cdot \tau)/(k \cdot T_{zg}) \quad (6)$$

unde P_r este puterea semnalului la intrarea receptorului stației terestre, W ; T_{zg} – temperatura de zgomot echivalentă a receptorului stației terestre, K ; k -constantă Boltzman, J/K ; $\tau = 1/R$ - durată timpului pentru transmisiunea unui bit, s ; R – viteza de transmisiune a informației, bps . Conform [6] puterea semnalului la intrarea receptorului se determină conform formulei:

$$P_r = (P_e \cdot G_e \cdot S_{ef} \cdot \gamma_e)/4\pi l^2 \quad (7)$$

unde P_e este puterea emițătorului sistemului de bord, W ; G_e - câștigul antenei de emisie sistemului de bord, dB ; S_{ef} – suprafața eficientă a antenei de recepție; l – distanța înclinată între satelit și stația terestră, m ; γ_e – coeficientul care ia în considerare pierderile de energie în atmosferă cauzate de absorbție.

Pentru antena cu reflector parabolic din cadrul stației terestre suprafața eficientă la recepție se determină prin relația [6]:

$$S_r = \lambda_r^2 \cdot G_r/4\pi\gamma \quad (8)$$

unde λ_r este lungimea de undă la intrarea receptorului stației terestre, m ; G_r – câștigul antenei de recepție a stației terestre, dB ; γ – coeficientul de utilizare a suprafeței antenei cu reflectorul parabolic de recepție a stației terestre. Substituind expresia (8) în (7), apoi expresiile (7) și (8) în formula (6) obținem următoarea ecuație:

$$\hbar^2 = \left[P_e \cdot G_e \cdot \lambda_r^2 \cdot G_r \cdot \frac{\gamma_e}{4\pi l^2} \cdot \gamma \cdot k \cdot T_{zg} \cdot R \right] = \left[E_B \cdot \lambda_r^2 \cdot Q_{ST} \cdot \gamma_e / 4\pi l^2 \cdot \gamma \cdot k \cdot R \right], \quad (9)$$

unde $E_B = P_e \cdot G_e$ – EIRP (SB); $Q_{ST} = G_r/T_{zg}$ – factorul de calitate de zgomot a receptorului stației terestre. Astfel, expresia pentru factorul de calitate a zgomotului stației terestre poate fi scrisă sub forma:

$$Q_{ST} = [(4\pi \cdot l)^2 \cdot \gamma \cdot k \cdot R \cdot \hbar^2 / E_B \cdot \lambda_r^2 \cdot \gamma_e] \quad (10)$$

iar expresia pentru EIRP a stației terestre se exprimă prin formula:

$$E_{ST} = [(4\pi \cdot l)^2 \cdot \gamma \cdot k \cdot R \cdot \hbar^2 / Q_B \cdot \lambda_e^2 \cdot \gamma_e] \quad (11)$$

unde λ_e este lungimea de undă a semnalului emițătorului stației terestre, m.

Sporirea certitudinii la recepția informației digitale în sistemele de comunicații prin satelit

La proiectarea sistemelor de comunicații prin satelit o atenție sporită se acordă majorării certitudinii la recepția informației digitale pentru valoarea prescrisă a vitezei de transmisiune a informației. Certitudinea D la recepția informației digitale reprezintă probabilitatea, că simbolurile binare recepționate corespund cu simbolurile binare transmise și sporește cu majorarea raportului semnal/zgomot care este proporțional energiei semnalului digital E [7].

Deoarece probabilitățile recepțiilor corecte și eronate a simbolurilor formează o grupă totală de evenimente, atunci certitudinea D se exprimă prin relația:

$$D = 1 - B[1 - \phi(x)] \leq 1 \quad (12)$$

unde $\phi(x)$ este integralul probabilității ; B – coeficientul care depinde de tipul modulației ($B < 1$); x – funcția care este determinată de timpul semnalului utilizat și de raportul semnal/zgomot.

Energia semnalului E se determină conform formulei:

$$E = \int_{t_1}^{t_2} A^2(t) dt \quad (13)$$

unde $A(t)$ este amplitudinea semnalului; t_1 și t_2 – corespunzător timpul de inițiere și finisare a semnalului digital. Energia semnalului digital poate fi sporită prin intermediul a două moduri:

- Majorarea amplitudinii semnalului digital;
- Majorarea duratei simbolului semnalului digital.

Sporirea energiei semnalului digital prin intermediul majorării amplitudinii lui conduce la încălcarea cerințelor standardelor [8] , care limitează puterea semnalului la suprafața Pământului emis de retranslatorul satelitului. În cazul sporirii certitudinii la recepția informației digitale prin intermediul majorării duratei simbolurilor pentru valoarea prescrisă vitezei de transmisiune a informației, adică atunci când utilizarea aceleiași benzi de frecvență necesită utilizarea unor semnale complexe cu o bază mare B , care se exprimă prin relația:

$$B = T \cdot F \quad (14)$$

unde T este durata simbolului semnalului digital; F – banda de frecvență a semnalului. În rezultatul procesării optime, semnalele cu bază mare se comprimă în timp de B ori [9], adică până la durata care se determină prin relația:

$$T_{ies} = \frac{T}{B} = 1/F \quad (15)$$

care este egală cu durata simbolului semnalului inițial. Prin urmare, majorarea duratei simbolurilor semnalelor cu păstrarea lărgimii spectralelor lor, asigură atât păstrarea valorii vitezei de transmisiune a informației, cât și concomitent sporirea certitudinii de transmisiune a informației. Astfel, de exemplu, la utilizarea semnalului obișnuit se asigură certitudinea la recepția informației digitale egale 0,999, care corespunde valorii funcției $x=3,295$. La utilizarea

semnalelor complexe, cu majorarea bazei semnalului numai de 4 ori, certitudinea la recepția informației digitale se majorează până la valoarea 0,9999999999, adică probabilitatea erorii de bit la recepția simbolurilor "1" și "0" a semnalului digital se reduce de 10^{-10} , adică cu 7 ordine.

Pentru eliminarea interferenței semnalelor în traficul de linie aerian și păstrării factorului de vârf urmează să utilizăm semnalele cu modulație liniară în frecvență (MLF) (fig. 1.), semnalele care corespund diferitor simboluri se deosebesc prin faza inițială de umplere de înaltă frecvență.

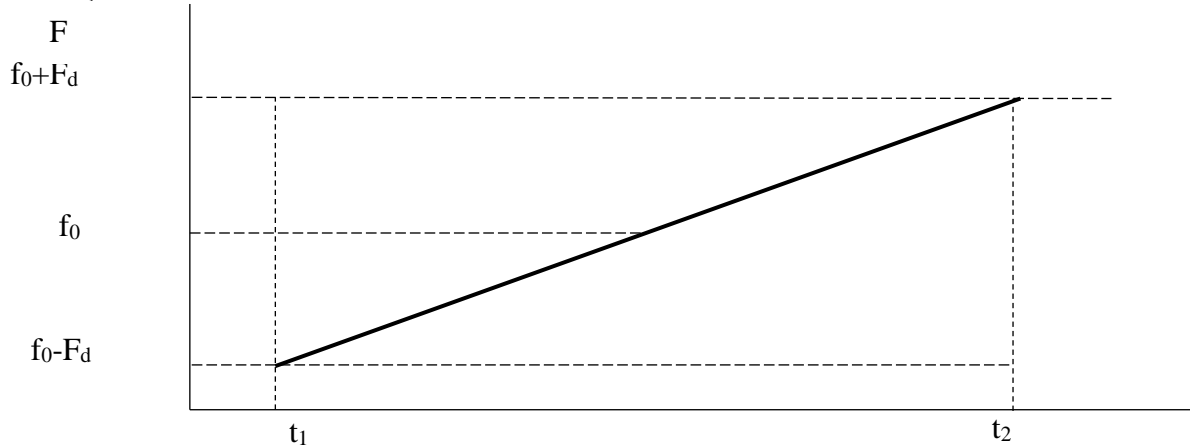


Figura. 1. Diagrama frecvență-timp pentru semnalul cu MLF

Conform Figurii 1, frecvența f_0 este frecvența medie a umplerii MLF a impulsului. Valorile sporite a bazei impulsurilor cu MLF suficient de precis se descriu în [10] prin expresia:

$$B_s = 2F_d T_s \quad (16)$$

unde $2F_d$ este deviația totală a frecvenței. În plus, când $B_s \ll 1$ anvelopa spectrului de amplitudine a MLF impulsurilor este aproximativ dreptunghiulară [10], adică dacă impulsurile cu MLF în timp, dacă $|t| \leq (T_s/2)$, se descriu pentru timpul curent prin expresia:

$$a_{int}(t) = A_0 \cos \left\{ 2\pi \left[f_0 + (B_{st}/T_s^2) \right] t \right\} \quad (17)$$

iar, dacă $|t| > (T_s/2)$, atunci $a_{int}(t) = 0$ și atunci densitatea spectrală a lui pentru $|f - f_0| \leq F_d$, se determină prin intermediul următoarei formule:

$$S(|f - f_0|) = A_0 T_s / 2 \sqrt{B_s} \quad (18)$$

iar, dacă $(|f - f_0|) = F_d$, $S(|f - f_0|) = 0$. Durata lobului principal a semnalului cu MLF la ieșirea receptorului se determină prin relația:

$$T_{ieș} = 1/F_d \quad (19)$$

Întrucât zerourile anvelopei semnalului sunt distanțate de lobul principal la intervale multiple valorii de $0,5 T_{ieș}$, atunci pentru a elimina interferențele reciproce, toate semnalele trebuie să se succedă cu o perioadă $T_p = 0,5 T_{ieș}$.

Analiza metodei de evaluare a sistemelor de control invariante din cadrul rețelelor de comunicații

Una din principalele sarcini ale sistemului de control din cadrul rețelelor de comunicații moderne este asigurarea invarianței parametrilor rețelei relativ de factorii de interferență imprevizibili. Pentru aceasta sistemul de control trebuie să posede o structură combinată [11] care să difere de cele adoptate prin capacitatea de a controla rețeaua de comunicații în două moduri simultan. Primul mod este utilizat în prezent în toate sistemele de control. Acesta constă în faptul, că parametrii rețelei de comunicații sunt monitorizați și în baza rezultatelor obținute sistemului de control primește o decizie. Modelul unui sistem de control de acest tip este adaptiv și corespunzător îndeplinește practic toate interferențele prevăzute în regim lent care afectează sistemul executiv. Însă, după cum este cunoscut, sistemele complexe, la care se referă și rețeaua de comunicații, sunt, de asemenea, supuse acțiunii unor interferențe neregulate și care se schimbă brusc. Prin urmare, sistemul de control trebuie să mențină precizia necesară a parametrilor rețelei, în ciuda naturii stocastice a perturbărilor externe. Sistemele de control cu astfel de proprietăți sunt numite invariante. Pentru a oferi sistemului proprietatea invarianței, este necesar un al doilea mod al sistemului de control, care să permită prevenirea situațiilor de urgență. Acest lucru se realizează datorită faptului, că factori perturbători sunt analizați mai întâi, iar pe baza acestora, sistemul de control ajustează parametrii rețelei. Vom numi un astfel de sistem de control combinat, structura căruia este prezentat în [11].

În continuare vom analiza mai detaliat modul de funcționare care oferă sistemului de control proprietatea invarianței și să îi dăm o definiție.

După cum este cunoscut, invarianța este înțeleasă ca fiind capacitatea unui sistem de control de a rezista influențelor interferenței. Rolul invariantului este valoarea acțiunii de control de-a lungul uneia dintre coordonate. Dacă controlul de-a lungul unor coordonate nu depinde de influența interferență, atunci sistemul de control este numit invariant [12].

Definim invarianța sistemului de control după cum urmează. Fie este rețeaua de comunicații cu parametrii prescriși. Starea rețelei poate fi descrisă de o variabilă dinamică observabilă (VDO) $Q(x,t)$, unde $x \in X$, X – este un set limitat; $0 \leq t \leq T$ tipul de control al parametrilor rețelei. Starea parametrilor rețelei depinde în mod semnificativ de interferențele de control $C(u,t)$ ($u \in U$) și de perturbarea $C(z,t)$ ($z \in Z$) (U și Z sunt seturi limitate). În caz general parametrii Q și C sunt mărimi vectoriale. Orice rețea de comunicații este un sistem fizic complex și prin urmare VDO Q numai în mediu caracterizează starea unui număr mare de componente spectrale și adesea eterogene care o alcătuiesc. Prin urmare, întotdeauna este posibil de a indica o astfel de valoare a lui w , care determină distanța funcțională între două valori ale VDO Q , pentru care valorile lui Q devin nedefinite sau își pierd sensul fizic [11]. Valoarea lui w , care determină frontiera unei diferențe fiabile între două valori ale lui Q sau existența loc, se numește pragul fizic al distincției. Pentru două valori distincte fiabile ale lui Q , se îndeplinește următoarea condiție:

$$P[\varphi(Q_1, Q_2) \geq w] \approx 1 \quad (20)$$

iar metrica spațiului VOD Q (20) depinde de criteriul prin care se disting valorile variabilei controlate de sistemul de control:

$$\eta = f(Q^1, Q) \quad (21)$$

unde η este criteriul calității controlului, Q^1 - valoarea specifică a variabilei controlate. Introducerea pragului de distincție w cu un set limitat de valori VOD Q ne permit să determinăm calitatea limitată de informație care poate fi conținută în VOD Q sub forma capacității $L_w(Q)$ și prin urmare, numărul limitativ de stări ale obiectelor controlate. Ca măsură a diversității stărilor

posibile ale obiectelor controlate în orice moment ale timpului $t \leq T$, se poate utiliza entropia instantanee VOD Q:

$$H_t(Q) = \int_x p(x, t)h(x, t)dx, \quad (22)$$

unde $p(x, t)$ este densitatea distribuției; $h(x, t) = \lg p(x, t)$ – densitatea distribuției entropiei $Q(x, t)$.

$$H_t(Q) \leq L_w(Q) \quad (23)$$

În consecință, prin invarianța sistemelor de control, înțelegem proprietățile sale de a menține o stare prescrisă conform nivelului (20), sub influențe variabile aparținând unui anumit set. Este necesar să se indice două cazuri principale de invarianță:

Când sistemul de control trebuie să fie într-o stare stabilă prescrisă:

$$Q(x, t) = X = const \quad (24)$$

posedă o varietate de VOD Q în acest caz entropia va fi egal cu zero,

$$H(Q) = 0 \quad (25)$$

Când sistemul de control trebuie să transfere obiectul controlat dintr-o stare în alta în conformitate cu legea de control prescrisă $Q^1(x, t)$. Bineînțeles, condiția de invarianță pentru acest caz va corespunde transferului complet de informație, adică varietatea stărilor obiectului Q trebuie să corespundă sarcinii:

$$H(Q) = H(Q^1) \quad (26)$$

Condițiile (25) și (26) împreună cu (20) reprezintă condiții de informare pentru invarianța sistemelor de control [12].

Concluzii

Analiza efectuată privind funcționarea eficientă a rețelelor de comunicații radio terestre, prin satelit și a rețelelor de control cu comunicațiile permite să efectuăm următoarele concluzii:

În baza analizei a trei criterii de estimare a compatibilității electromagnetice pentru rețelele de comunicații radio în intervalul de frecvență 2400-2800 MHz a fost determinat, că cel mai optim criteriu este criteriul de sporire a pragului sensibilității receptorului stațiilor de bază și conform evaluărilor efectuate, se recomandă de a utiliza în calitate de valori optime pentru criteriul TD, valorile de la 20 până la 30 dB în dependență de densitatea abonaților în zona de deservire;

Au fost determinate ecuațiile pentru factorul de calitate a zgomotului și puterii de radiație izotropică echivalentă EIRP, în baza cărora pot fi determinate datele inițiale de optimizare stațiilor terestre din cadrul comunicațiilor prin satelit;

În conformitate cu standardele internaționale în vigoare au fost determinată ecuația de estimare a valorii admisibile pentru densitatea spectrală a puterii semnalului care ajunge pe Pământ de la satelit, pentru care se asigură sporirea certitudinii la recepția informației digitale în rețelele de comunicații prin satelit.

A fost determinat, că în calitate de măsură a diversității stărilor posibile ale rețelelor de comunicații controlate, în orice moment de timp, poate servi entropia instantanee a variabilei dinamice observabile, care permite să estimăm cantitatea informației de control și prin urmare capacitatea de transfer a canalelor sistemului de control, care posedă proprietatea de adaptabilitate la perturbările lente previzibile și invarianță la factori aleatorii imprevizibili.

Referințe

- [1] ITU. Standard IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks. 1997 and additions to it.
- [2] ITU-R P.452: Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies about 0,1 and 0,7 GHz. Approved in 2015.
- [3] ITU-R P.525: Calculation of free-space attenuation. Approved in 2019.
- [4] ITU-R P. 526: Propagation by diffraction. Approved in 2019.
- [5] MARAL, G. VSAT networks. Chichester England: John Wiley & Sons, Ltd. 2003.
- [6] SKLAR, B. Digital Communications. Fundamentals and Applications. PHPTR USR, New Jersey 07488, 2004.
- [7] MORELOS-SARAGOSA, R. The art of noise-immune coding. Methods, algorithms , application. Moscow: Technosphere, 2005.
- [8] ITU. Radio Regulations. Geneva, edition 1998, vol. 1.
- [9] SELOMON, D. Compression of data, images and sound. Moscow: Technosphere, 2004.
- [10] PROAKIS, J. Digital communications. Moscow: Radio and communication, 2000.
- [11] DORF, R., BISHOP, R. Modern control systems. Moscow: Laboratory of Basic Knowledge, 2002.
- [12] OKUNEV, Yu. B. Communication system with invariant noise immunity characteristics. Moscow: Communications, 1973.