

Universitatea Tehnică a Moldovei

**TEHNICI DE SECURIZARE A REȚELELOR
RADIORELEU**

Masterand:

Ilie MALAI

Conducător:

prof.univ. Ion BOLUN

Chișinău 2020

Ministerul Educației, Culturii Și Cercetării al Republicii Moldova
Universitatea Tehnică a Moldovei
Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică
Departamentul Automatică și Ingineria Software

Admis la susținere

Șef departament conf.univ., dr. Ion Fiodorov

„_” _____ 2020

TEHNICI DE SECURIZARE A REȚELELOR RADIORELEU

Teză de master în
Securitatea informațională

Student:

Ilie MALAI

Conducător:

prof.univ. Ion BOLUN

Chișinău – 2020

REZUMAT

la teza de master ”**Tehnici de securizare a rețelelor radioreleu**”
a masterandului gr. SI-191m, specialitatea „**Securitatea informațională**”,
MALAI Ilie

Actualitatea și relevanța problemei de cercetare. Tendințele moderne în domeniul securității rețelelor (RP) bazate pe înlocuirea rețelelor cu protecție electromecanică (EMPR) cu rețele cu protecție digitale (DPR) au dus la apariția unei probleme absolut noi, care nu se știa până acum. Această problemă se referă la atacul distructiv intenționat la distanță (IRDI) asupra protecției rețelei pentru a-l scoate din funcțiune sau a-l face să îndeplinească funcții care nu au nimic de-a face cu modul operațional al echipamentelor electrice protejate. Metodele tradiționale și bine cunoscute care asigură siguranța și securitatea informațiilor nu pot preveni pe deplin acțiunile neautorizate ale RP.

Teza se axează pe provocările și riscurile cu care se confruntă RP în noile condiții ale 5G, punându-se accent pe securitatea rețelelor radio releu.

Soluțiile tehnologice pentru a îndeplini aceste standarde sunt discutate, precum și benzile de frecvență care ar putea compune spectrul 5G în protecția și securitatea RP.

Lucrarea de față aduce în discuție aspecte de securitate a rețelelor radioreleu.

Principalele probleme luate în considerare în teză sunt:

1. Investigarea dependențelor caracteristicilor de prag ale receptorului de parametrii energetici ai echipamentelor de releu radio pe legăturile digitale cu mai multe intervale cu planuri cu două frecvențe;

2. Optimizarea nivelurilor de putere ale emițătoarelor pe legăturile digitale ale RP cu mai multe intervale;

3. Alegerea optimă a caracteristicilor de directivitate ale antenelor pe legăturile de releu radio digital cu mai multe sloturi, ținând cont de factorii de securitate;

4. Analiza studiilor privind eficacitatea metodelor de optimizare a parametrilor de securitate ai echipamentelor de releu radio, precum și eficiența controlului luându-se în considerare tehnicile de securitate.

ANNOTATION

to the graduate work "**Radio relay network security techniques**"
of the student of the SI-191m group, specialty „**Information security**",
MALAI Ilie

The relevance of the research problem. Modern trends in relay safety (RP) based on the replacement of electromechanical protection relays (EMPR) with digital protection relays (DPR) have led to the emergence of an absolutely new problem, which was not known until now. This issue concerns the intentional remote destructive impact (IRDI) on the protection of the relay to disable it or cause it to perform functions that have nothing to do with the operational mode of the protected electrical equipment. Traditional and well-known methods that ensure the security and security of information cannot fully prevent unauthorized actions by the PR.

The thesis will focus on the challenges and risks faced by RP in the new conditions of 5G, focusing on the security of relay radio networks.

Technological solutions to meet these standards are discussed, as well as the frequency bands that could make up the 5G spectrum in RP protection and security.

Formulation of the problem. This paper discusses the security aspects of the relay radio network.

In this case, the main issues considered in the thesis are:

1. Investigation of the dependencies of the threshold characteristics of the receiver of the energy parameters of the radio relay equipment on the digital links with several intervals with two-frequency plans;
2. Optimizing the power levels of the transmitters on the digital links of the PR with several intervals;
3. Optimal choice of antenna directivity characteristics on multi-slot digital radio relay links, taking into account security factors;
4. Analysis of studies on the effectiveness of methods for optimizing the security parameters of radio relay equipment, as well as the efficiency of control taking into account security techniques.

CUPRINS

INTRODUCERE	7
1. PROBLEMATICA SECURIZĂRII REȚELELOR RADIORELEU	10
1.1 Esența comunicațiilor radioreleu.....	Error! Bookmark not defined.
1.2 Sisteme de securizare a comunicațiilor numerice radioreleu din perspectiva noilor tehnologii.....	Error! Bookmark not defined.
1.3. Unele aspecte de securizare avansată a rețelilor radioreleu	Error! Bookmark not defined.
2. REGULI CU CREAREA ȘI UTILIZAREA SISTEMELOR RADIORELEU SECURIZATE.....	Error! Bookmark not defined.
2.1. Cerințe de bază pentru antenele radioreleu	Error! Bookmark not defined.
2.2 Optimizarea parametrilor echipamentelor radio releu numerice securizate.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.1. Principalele probleme de comunicare.....	Error! Bookmark not defined.
2.2.2 Contramăsuri și puncte slabe existente pentru optimizarea protecției criptografice a rețelelor radioreleu	Error! Bookmark not defined.
2.3. Alegerea echipamentului	Error! Bookmark not defined.
2.3.1 Amplasarea echipamentelor pentru sistemele de rele radio	Error! Bookmark not defined.
2.3.2 Alegerea unui producător.....	Error! Bookmark not defined.
2.4. Executarea sistemului	Error! Bookmark not defined.
2.5. Controlul și gestionarea rețelei ppc	Error! Bookmark not defined.
2.6 Radio portabil motorola cp180	Error! Bookmark not defined.
3. PROIECTAREA SECURITĂȚII DE COMUNICARE.....	Error! Bookmark not defined.
3.1. Standarde pentru indicatori de calitate și disponibilitate	Error! Bookmark not defined.
3.1.1 Conexiune digitală ipotetică, cale și secțiune	Error! Bookmark not defined.
3.1.2 Caracteristici de disponibilitate și calitate	Error! Bookmark not defined.
3.2 Securizarea traficului informațional radio releu	Error! Bookmark not defined.
3.2.1. Securitatea logică a accesului și a serviciilor	Error! Bookmark not defined.
3.2.2. Securitatea rețelelor	Error! Bookmark not defined.
3.3. Descrierea proiectului de securizare a rețelei	Error! Bookmark not defined.
3.3.1. Algoritmi de securitate	Error! Bookmark not defined.
3.3.2. Sistemul de operare și aplicațiile suspecte.....	Error! Bookmark not defined.
4. EVALUAREA PROIECTULUI.....	Error! Bookmark not defined.

4.1 Evaluarea costurilor cu crearea rețelei	Error! Bookmark not defined.
4.2. Evaluarea eficienței economice a proiectului	Error! Bookmark not defined.
4.3. Calculul fiabilității.....	Error! Bookmark not defined.
CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI.....	10
BIBLIOGRAFIE.....	12
Anexa 1. Domenii de frecvență pentru comunicațiile cu releu radio:	Error! Bookmark not defined.

INTRODUCERE

Securitatea informațiilor comunicate prin mijloace tehnice moderne a devenit o problemă importantă și acest lucru este deosebit de important, mai cu seamă, pentru comunicațiile din rețeaua inteligentă de radio releu. Pentru conexiunile în bandă largă cu stații sau utilizatori finali, comunicațiile radio pe distanțe scurte și medii pot oferi o mare comoditate și flexibilitate în diverse domenii. Cu toate acestea, în comparație cu securitatea rețelei cu fir, realizarea securității fără fir este mai dificilă. În general, limitarea unui semnal radio într-un spațiu dorit este imposibilă, astfel scurgerea de informații fără fir este o problemă critică. Tehnicile de securitate bazate pe criptare și autentificare s-au dovedit eficiente, dar toate trebuie să consume resurse radio suplimentare.

Tendențele moderne în domeniul protecției releelor (RP) bazate pe înlocuirea releelor de protecție electromecanică (EMPR) cu relee de protecție digitale (DPR) au dus la apariția unei probleme absolut noi, care nu se știa până acum. Această problemă este posibilitatea unui impact distructiv intenționat la distanță (IRDI) asupra protecției releului pentru a-l scoate din funcțiune sau a-l face să îndeplinească funcții care nu au nimic de-a face cu modul operațional actual al echipamentelor electrice protejate. Metodele tradiționale și bine cunoscute care asigură siguranța informațiilor nu pot preveni pe deplin acțiunile neautorizate ale RP. Articolul descrie o nouă modalitate de soluționare a problemei.

În această cercetare este propusă și examinată o tehnică de securitate a stratului fizic complementară mijloacelor de securitate implementate la straturile superioare. Utilizarea releului radio face un mediu multipath practic bogat, validând astfel schema de securitate propusă pentru stratul fizic. Ne vom concentra pe provocările și riscurile cu care se va confrunta 5G pentru securitatea rețelelor radioreleu. În primul rând trebuie să fim atenți la extinderea pieței de comunicații mobile și necesitatea unei noi arhitecturi de rețea pentru asistență securității. Apoi, detaliat pe mai multe aplicații revoluționare care vor fi posibile datorită 5G. Pe baza acestor proiecții, standardele pentru tendințele actuale sunt date. Soluții tehnologice pentru a îndeplini aceste standarde sunt discutate, precum și benzile de frecvență care ar putea compun spectrul 5G. În cele din urmă ne arată standardele cheie care vor păstra viitoarele amplificatoare de putere să fie în concordanță cu nevoile 5G, în special în ceea ce privește reducerea consumului de energie.

Formularea problemei. Lucrarea de față aduce în discuție aspecte ale rețelei radio releu. Ca urmare a digitalizării masive a rețelelor de releu radio analogice (PPJI) și a construirii pe scară largă a noilor PPJI digitale în diverse scopuri, s-a format acum o rețea destul de extinsă de PPJI digitale în Republica Moldova, care continuă să se dezvolte rapid. Digital PPJI (TsRRL) au devenit componentă importantă a rețelelor moderne de comunicații digitale din Republica Moldova: departamentale și corporative, locale și intra-zone, coloane vertebrale și internaționale [1. zece].

În timpul construcției noilor PPJI digitale și reconstrucției (digitalizării) liniilor analogice existente, alături de cele străine, sunt utilizate pe scară largă echipamentele digitale de releu radio de producție internă, a căror calitate se apropie de calitatea celor mai bune eșantioane străine, iar costul este semnificativ mai mic [6, 7, 8, 11. 14].

Introducerea pe scară largă a liniilor digitale de releu radio este facilitată de compatibilitatea lor completă cu liniile de comunicații prin fibră optică (FOCL), care oferă posibilitatea utilizării în comun a liniilor digitale de releu radio și liniilor de comunicație prin fibră optică, redundanța lor reciprocă și închiderea inelelor FOCL în secțiuni „dificile”, precum și compatibilitatea lor cu rețelele moderne de comunicații sincrone și plesiocronice și sisteme de control automat al acestor rețele bazate pe principiile TMN [15, 23].

De asemenea, trebuie remarcat faptul că, în conformitate cu recomandările de bază ale Uniunii Internaționale a Telecomunicațiilor (UIT-T), sectorul de standardizare G.826 și G.828 (pentru indicatorii de performanță a erorilor) și G.827 (pentru indicatorii de indisponibilitate), cerințele actuale de performanță sunt aceleași atât pentru CRRL, cât și pentru FOCL [19.21]. În ceea ce privește randamentul TsRRL modern, acesta atinge 155,52 Mb / s și chiar 622,08 Mb / s pe baril. Trebuie remarcat faptul că multe CRRL-uri (inclusiv toate trunchiurile și cele internaționale) au mai multe țevi, iar numărul de trunchiuri de lucru în diferite intervale de frecvență ajunge la 5, 8 și chiar 11 [16,18,22,23].

Avantajele binecunoscute ale TsRRL sunt: fiabilitate ridicată a căii liniare, eficiență economică, dependență scăzută de condițiile naturale locale (inclusiv topografice), posibilitatea utilizării suporturilor de antenă ale TsRRL pentru plasarea antenelor de comunicații mobile și a sistemelor de difuzare a televiziunii, posibilitatea utilizării infrastructurii existente a rețelei analogice RRL.

Având în vedere indicatorii de înaltă calitate ai transmiției informațiilor pe liniile digitale moderne de releu radio (practic nu inferioare indicatorilor liniilor de comunicații prin fibră optică), debitul relativ ridicat al acestora, avantajele menționate mai sus, infrastructură de comunicații slabă în multe regiuni ale țării, perspectivele pentru implementarea pe scară largă a liniilor digitale de releu radio în diverse scopuri în rețelele de comunicații din Republica Moldova par a fi foarte favorabile.

Calculul și proiectarea stației radioreleu digitale sunt etape extrem de importante în construcția de noi linii de releu radio digitale și reconstrucția (digitalizarea) liniilor de releu radio analogice existente. Finalizarea cu succes a acestor etape determină nu numai costurile de construcție (și exploatare) ale RRL, ci și îndeplinirea cerințelor existente pentru indicatorii de calitate.

În acest caz, principalele probleme luate în considerare în teză sunt:

1. Investigarea dependențelor caracteristicilor de prag ale receptorului de parametrii energetici ai echipamentelor de releu radio pe legăturile digitale de releu radio cu mai multe intervale cu planuri cu două frecvențe;
2. Optimizarea nivelurilor de putere ale emițătoarelor (tsp) pe legăturile digitale cu releu radio cu mai multe intervale;
3. Alegerea caracteristicilor de directivitate ale antenelor pe legăturile de releu radio digital cu mai multe sloturi, ținând cont de factorii de securitate;
4. Analiza studiilor privind eficacitatea metodelor de optimizare a parametrilor energetici ai echipamentelor de releu radio, precum și eficiența controlului automat al puterii emițătorilor pe liniile de releu radio digitale cu mai multe intervale luându-se în considerare tehnicile de securitate.

Teza include introducerea, patru capitole, concluzii finale și recomandări, bibliografia și 3 anexe. Conținutul de bază este expus pe 77 pagini.

CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI

În acest proiect, accentul în alegerea echipamentului a fost pus pe posibilitatea de a transmite cantități mari de informații. Alegerea echipamentului pentru organizarea unei stații de radio releu digitale pe echipamentele SDH a fost făcută din următoarele motive: în primul rând, datorită eficienței economice, care se reflectă în studiul de fezabilitate al proiectului pentru compania Berkut și, în al doilea rând, luând în considerare furnizarea unei rezerve pentru extinderea comunicațiilor în următorii zece ani. Echipamentul MIK-RL7S a fost selectat ca principal furnizor de echipamente RRL.

Avantajele acestui echipament:

- Capacitatea de utilizare la temperaturi scăzute ($- 55^{\circ}$);- Aproximarea furnizorului și a centrului său de servicii;
- Cost redus în comparație cu analogii străini.

În același timp, există o serie de dezavantaje, inclusiv- parametrii echipamentului sunt puțin mai puțin performanți decât omologii lor străini; Una dintre sarcinile din misiunea tehnică a fost dezvoltarea unui sistem de organizare a comunicării pentru site-ul proiectat. Pentru a construi o astfel de schemă, este necesar să ne imaginăm cu exactitate structura și funcționalitatea echipamentelor de radio releu furnizate de companie.

Am analizat informații despre echipamente de releu radio de la companii precum Nec, Nera și Harris.

S-a dezvoltat că cele mai utilizate soluții de releu radio pentru organizarea comunicării pe fluxul STM-1 sunt NecDMR3000S, Nec Pasolink +, Harris TRuepoint, NeraInterLink și CityLink.

Deși au fost găsite recenzii bune pentru DMR3000S și NeraInterLink, principala problemă a apărut în găsirea schemelor de comunicare pentru acest echipament. Anume, acest lucru a făcut posibilă alegerea finală cu privire la utilizarea echipamentului MIK-RL7S. Calculul factorului de indisponibilitate RRL a fost efectuat conform metodei Nera, precum și înălțimile suspensiei antenei. Calcularea profitabilității investițiilor într-un sistem de comunicații de acest nivel este mult mai dificil, inclusiv, trebuie să luați în considerare: îmbătrânirea echipamentelor

existente și o creștere constantă a costului întreținerii acestuia; închirierea fluxurilor pentru implementarea sistemelor de concediere reciprocă etc.

BIBLIOGRAFIE

1. Security of 3G and LTE, <https://www.researchgate.net/publication/235339185>.
2. _Security_of_3G_and_LTE, (ultima accesare: 21.11.2020).
3. “The 3rd Generation Partnership Project Agreement”, PDF document, available at ‘http://www.3gpp.org/About/3GPPagree_300806.pdf’, (ultima accesare: 21.11.2020).
4. Barker C. William, “Recommendation for the Triple D ata Encryption Algorithm (TDEA) Block Cipher”, Publicatie specială NIST 800-67, May 2004 <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-67/SP800-67.pdf>, (ultima accesare: 21.11.2020).
5. Frankel Sheila, Kent Karen, Lewkowski Ryan, Orebaugh D. Angela, Ritchey W. Ronald, Sharma R. Steven, “Guide to IPsec VPNs - Recommendations of the National Institute of Standards and Technology”, Publicatie special a NIST 800-77, Dec. 2005, <http://csrc.nist.gov/publications/nistpubs/800-77/sp800-77.pdf>.
6. <http://csrc.nist.gov/publications/fips/fips197/fips-197.pdf>, “Announcing the ADVANCED ENCRYPTION STANDARD (AES)”, Publicația de procesare a standardelor 197, Nov. 2001, (ultima accesare: 21.11.2020).
7. LTE Security II: NAS and AS Security, <http://www.netmanias.com/en/post/techdocs/5903/lte-security/lte-security-ii-nas-and-as-security>, (ultima accesare: 21.11.2020).
8. What is LTE: Long Term Evolution Tutorial & Overview, <http://www.radio-electronics.com/info/cellular telecomms/lte-long-term-evolution/lte-security-authentication.php>, (ultima accesare: 21.11.2020).
9. <http://www.tml.tkk.fi/Studies/T-110.551/2003/papers/13.pdf>, (ultima accesare: 21.11.2020).
10. <http://www.zeroshell.net/eng/kerberos>, Fulvio Ricciardi, “The Kerberos protocol and its implementations”, No v. 2006, (ultima accesare: 21.11.2020).
11. 4G/LTE Mobile Communication Systems, <https://arxiv.org/pdf/1510.07563.pdf>, (ultima accesare: 21.11.2020).
12. 4G LTE Security for Mobile Network Operators, <https://www.csiac.org/journal-article/4g-lte-security-for-mobile-network-operators/>, (ultima accesare: 21.11.2020).
13. <https://www.hoferlife.at/de/ebook-download/wissenschaft/technik/elektronik-elektrotechnik-nachrichtentechnik/lte-security/p/2013070205323>, (ultima accesare: 21.11.2020)

14. Technology and security for SAE/LTE, https://www.nttdocomo.co.jp/english/binary/pdf/corporate/technology/rd/technical_journal/bn/vol11_3/vol11_3_027en.pdf , (ultima accesare: 21.11.2020).
15. Liu Jeffrey, Jiang Steven, Lin Hicks, “Introduction to Diameter”, Jan. 2006 <http://www.ibm.com/developerworks/wireless/library/wi-diameter>.
16. OFDM and MC-CDMA References, http://www.eng.usf.edu/wcsp/OFDM_links.html, (ultima accesare:21.11.2020).
17. Thomas J., Elbirt A.J., “Understanding Internet Protocol Security”, Electrical and Computer Engineering Department, University of Massachusetts Lowell, One University Avenue, Lowell, MA 01854, USA, 2006 <http://faculty.uml.edu/aelbirt/IPsec.pdf> .
18. Upase, B.. Hunukumbure. M.. Vadgama. S. “Radio Network Dimensioning and Planning for WiMAX Networks”. Retrieved 26.11.2007, www.fujitsu.com/downloads/MAG/vol43-4/paper09.pdf. (ultima accesare 20.11.2020).
19. Radio Design Webinar: Optimising Your 700 MHz Deployments, <http://blog.3g4g.co.uk/search/label/4G> (ultima accesare: 21.11.2020).
20. Femtocell Opinion, comment and reviews, <https://www.thinksmallcell.com/Opinion/mobile-network-statistics-for-2016.html>, (ultima accesare: 21.11.2020).
21. Zetron 4010- Корпус комплексной многофункциональной диспетчерской консоли, <http://www.ics-ru.com/products/new/disp/zetron/P000008/>, (ultima accesare: 21.11.2020).
22. Implementation of a Countermeasure to Relay Attacks for Contactless HF Systems, <https://www.intechopen.com/books/radio-frequency-identification-from-system-to-applications/implementation-of-a-countermeasure-to-relay-attacks-for-contactless-hf-systems#F2> (ultima accesare: 21.11.2020).
23. 3GPP Technical Report TR 25.813, “Radio Interface Protocol Aspects for Evolved UTRA”, version 7.0.0.
24. 3GPP technical Report TR 25.814, “Physical Layer Aspects for Evolved UTRA”, version 7.1.0.
25. 3GPP technical Report TS 36.410, “E-UTRAN. S1 general aspects and principles”.
26. 3GPP technical Report TS 36.414 V0.1.1, “E-UTRAN. S1 data transport”.
27. 3GPP Technical Report TS 36.420 “E-UTRAN. X2 general aspects and principles”.

28. 3GPP Technical Specification TS 36.211 V8.0.0, "E-UTRA Physical channels and modulation".
29. 3GPP Technical Specification TS 36.300 V8.2.0, "E-UTRA and E-UTRAN Overall description. Stage 2" 61.
30. 3GPP Technical Specification TS 36.420 "E-UTRAN. Physical channels and modulation", Version 1.0.0 60.
31. 3GPP TR 25.913, Requirements for Evolved UTRA (E-UTRA) and Evolved UTRAN (E-UTRAN), V7.3.0.
32. Anssi Hoikkanen, "Economics of 3G Long-Term Evolution: the Business Case for the Mobile Operator," IEEE Conference on Wireless and Optical Communications Networks. July 2007.
33. Antti Toskala, Harri Holma, Esa Tirola, Kari Pajukoski, #UTRAN Long Term Evolution in 3GPP," PIMC 06, Helsinki, Finland..
34. Bissell, C. Chapman, D., "Modelling applications of spreadsheets [in engineering]," IEEE Review. July 1989.
35. Bissell, C.C., "Spreadsheets in the teaching of information engineering," IEEE Engineering Science and Education Journal. April 1994.
36. E. Shannon, "Communication in the presence of noise", Proc. Institute of Radio Engineers, vol. 37, no.1, pp. 10-21, Jan. 1949. Reprint as classic paper in: Proc. IEEE, Vol. 86, No. 2, (Feb 1998).
37. Dahlman, Parkvall, Skold and Beming, 3G Evolution: HSPA and LTE for Mobile Broadband, Academic Press, Oxford, UK, 2007.
38. Joseph Billo, "EXCEL for Scientists and Engineers," Wiley Interscience, New York, 2007, ISBN 978-0-471-38734-3.
39. Harri Holma and Antti Toskala, "HSDPA / HSUPA for UMTS", High Speed Radio Access for Mobile Communications, John Willey and Sons, 2006.
40. Harri Holma and Antti Toskala, "WCDMA for UMTS" Third Edition, John Willey and Sons, 2004.
41. Jaana Laiho, Achim Wachter and Tomas Novosad, "Radio Network Planning and Optimisation for UMTS", John Willey and Sons, 2002.

42. Jamalipour, A., Mirchandani, V., Kibria, M.R., “Dimensioning of an enhanced 4G/B3G infrastructure for voice traffic,” IEEE 16th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, 2005. PIMRC September 2005.
43. Olin, B., Nyberg, H., Lundevall, M., “A novel approach to WCDMA radio network dimensioning”, IEEE 60th Vehicular Technology Conference, vol 5, pp. 3443-3447, Sep. 2004.
44. Oprea Dumitru, “Protecția și securitatea informațiilor”, Ed. Polirom, Iași, 2003.
45. Paterson G. K., Yau K.L. Arnold, “Cryptography in Theory and Practice: The Case of Encryption in IPsec”, Nov. 2005, <http://eprint.iacr.org/2005/416.pdf>.
46. Preben Mogensen, et al, “LTE Capacity compared to the Shannon Bound,” IEEE 65th Vehicular Technology Conference, 2007. VTC2007-Spring. April 2007.
47. R. W. Chang, Synthesis of band-limited orthogonal signals for multichannel data transmission, Bell Syst. Tech. J., vol. 45, pp. 1775-1796, Dec. 1966.
48. Toskala, A., Holma, H., Pajukoski, K., Tirola, E.. “Utran Long Term Evolution in 3GPP”, IEEE 17th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, pp. 1-5, Sep. 2006.
49. Бородин С.В. Критерии и условия ЭМС систем спутниковой и радиорелейной связи // Электросвязь. 1986, №2. — С.28 — 31.
50. Евсеенко Г. Н. Цифровые системы передачи: Учебное пособие. — Ростов-на-Дону: РКСИ, 2005. — 100 с.
51. Маковеева М. М., Шинаков Ю. С., Системы связи с подвижными объектами: Учеб. Пособие для вузов – М.: Радио и связь, 2002 – 440 с.
52. Надененко Л.В., Святогор В.В., Кривоzubов В.П. Устойчивость работы интервалов РРЛ в диапазоне 8 ГГц // Электросвязь. 1978. - № 9. -С. 8-17.
53. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости: Ингвар Хенне, Пер Торвальдсен – Берген: NeraTelecommunications, 1994г. 153с.
54. Слюсар В.И. Современные тренды радиорелейной связи. //Технологии и средства связи. – 2014. - № 4.. — С. 32—36. [6].