

654.1+621.395

**METODE ȘI MODELE
DE EFICIENTIZARE
A COSTURILOR DE
DEZVOLTARE A REȚELELOR
DE TELECOMUNICAȚII**

*Prof. univ. dr. hab. Ilie COSTAȘ, ASEM
costas.ilie@yahoo.com*
*Conf. univ. dr. Anatol GODONOAGĂ, ASEM
anagodon22@yahoo.com*
*Drd. Grigore VARANIȚA, ASEM,
Coordonator de program al
Conferinței Națiunilor Unite pentru Comerț
și Dezvoltare în Turkmenistan
grigore.varanita@gmail.com*

În prezentul articol sunt descrise metode și modele de optimizare a cheltuielilor, ce țin de dezvoltarea rețelelor de telecomunicații cu fir și fără fir, atât pentru anumite zone teritoriale, cât și la nivel de țară. Metodologia propusă este bazată pe subdivizarea procesului de optimizare în trei etape: 1) identificarea zonelor teritoriale ale Republicii Moldova, care necesită dezvoltarea rețelelor, în conformitate cu cerințele și factorii specifici de influență; 2) calcularea și eficientizarea cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor în fiecare zonă aparte; 3) calcularea cheltuielilor totale pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de comunicații în țară. Pentru ambele niveluri teritoriale (zonă teritorială, întreg teritoriul țării), sunt elaborate modele matematice și formulate propuneri concrete de optimizare a cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor de telecomunicații. Modelele matematice, din baza metodologiei propuse, sunt realizate în formă de aplicație informatică.

Cuvinte-cheie: rețele de telecomunicații, eficientizarea costurilor, metodologie de optimizare, criterii de calitate, infrastructură de comunicații electronice, aplicație informatică.

JEL: C6, C8.

654.1+621.395

**METHODS AND MODELS
FOR EFFICIENCING
THE COSTS OF
TELECOMMUNICATIONS
NETWORKS DEVELOPMENT**

*Professor, Hab. Dr. Ilie COSTAȘ, ASEM
costas.ilie@yahoo.com*
*Assoc. Prof. PhD Anatol GODONOAGĂ, ASEM
anagodon22@yahoo.com*
*PhD cand. Grigore VARANIȚA, ASEM,
Program Coordinator,
United Nations Conference on Trade and
Development in Turkmenistan
grigore.varanita@gmail.com*

The present article describes methods and models of costs optimization related to the development of wired and wireless telecommunications networks for certain territorial areas and at country level. The proposed methodology is based on the subdivision of the optimization process into three stages: 1) identification of the territorial areas of the Republic of Moldova, which require networks development, according to the specific factors of influence; 2) calculating the expenses necessary for the networks development in each territorial area; 3) calculating the total costs for the development of the entire communications infrastructure in the country. For both territorial levels (territorial area and the whole country) mathematical models are elaborated and proposals for optimizing the expenditures for the development of telecommunications networks are formulated. The mathematical models are used in the design of a computer application.

Keywords: telecommunications network, cost efficiency, optimization methodology, quality criteria, electronic communications infrastructure, computer application.

JEL: C6, C8.

1. Introducere

Rețelele de telecomunicații reprezintă una din componentele de bază ale infrastructurii informaționale naționale (IIN) în orice țară modernă. De calitatea rețelelor, în mare măsură, depinde nivelul de dezvoltare al societății informaționale. Teoria și practica, în acest domeniu, se dezvoltă cu pași rapizi, cuprinzând un șir de aspecte foarte importante, precum: cercetarea rolului extrem de important al rețelelor mobile și fără fir atât în societatea modernă, cât și în viitor [9]; analiza generațiilor actuale și în curs de dezvoltare ale rețelelor fără fir, evidențiind capacitățile lor, în special cele ce țin de interoperabilitate [10]; cercetările ce țin de proprietățile topologice ale hărților de comunicații fără fir [6]; impactul administrării în comun a rețelelor de telefonie și rețelelor de comunicații prin cablu asupra accesului la Internet pe bandă largă [8]; optimizarea rețelelor de telecomunicații [7].

Unele din aceste direcții de investigații au intrat și în atenția cercetătorilor din Republica Moldova. O atenție deosebită a fost acordată aspectelor ce țin de partea tehnică a IIN (rețelele informatice), precum: locul și rolul rețelelor informatice în societatea modernă [2]; macrosinteza rețelelor de calculatoare [3]; configurarea rețelelor locale de servere [4]; modelelor și algoritmilor de configurare a setului de servere pentru rețelele locale [5]; cercetărilor și elaborării modelelor și algoritmilor de eficientizare a utilizării resurselor rețelelor informatice locale etc. [1].

La ora actuală, în Republica Moldova, există un potențial profesional creativ suficient, cu organizații specializate în domeniul rețelelor cu specialiști buni, care beneficiază de experiența avansată în domeniu și sunt pregătiți pentru dezvoltarea, de mai departe, a rețelelor informatice. Una din problemele serioase, ce stau în calea realizării obiecti-

1. Introduction

Telecommunications networks are one of the basic components of the national information infrastructure (NII) in any modern country. The level of development of the information society depends on the quality of the telecommunications networks. The theory and practice in this field are developing with rapid steps, enhancing a number of very important aspects, such as: researching the extremely important role of the mobile and wireless networks in both modern and future society [9]; analysis of the current and developing mobile and wireless networks, highlighting their capabilities, especially those related to interoperability [10]; research related to topological properties of wireless communications maps [6]; the impact of shared management of telephone and cable networks on broadband Internet access [8]; optimization of telecommunications networks [7].

Some of these research directions are also under the attention of researchers from the Republic of Moldova. A particular attention has been paid to the aspects related to the technical part of NII (computer networks), such as: the place and role of computer networks in the modern society [2]; macro synthesis of computer networks [3]; configuration of local server networks [4]; models and algorithms for configuring the server set for local networks [5]; research and development of models and algorithms for efficiently using the resources of local computer networks etc. [1].

Currently, there is a sufficient creative potential in the Republic of Moldova, with specialized organizations in the field of networks with highly qualified specialists, who take advantage from advanced experience in the field and are well trained for the further development of computer networks. One of the serious problems, which are an impe-

velor în domeniu, o constituie lipsa resurselor financiare, a unui buget necesar pentru o abordare sistemică și efectuarea completă și calitativă a acestei componente a infrastructurii informaționale naționale. În acest context, un interes deosebit prezintă cercetările în acest domeniu, orientate către elaborarea unei metodologii de eficientizare a cheltuielilor ce țin de dezvoltarea rețelelor de telecomunicații electronice în condițiile specifice ale Republicii Moldova, dar cu respectarea cerințelor în funcție de criteriile de calitate pe întreg teritoriul țării.

2. Metodologie și modele de evaluare a costurilor necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de comunicații electronice în țară

Dezvoltarea infrastructurii informaționale a societății, în general, și a rețelelor informatice, în particular, reprezintă o problemă complexă multidimensională și necesită o abordare sistemică. Analizând și generalizând cercetările anterioare, efectuate în domeniul respectiv atât în lume, cât și în RM [11], putem concluda că, deși R. Moldova e o țară relativ mică, problema dezvoltării infrastructurii informaționale naționale nu poate fi soluționată uniform pe întreg teritoriul ei. Pornind de la situația economică din țară (resursele financiare limitate, disponibile pentru dezvoltarea rețelelor de telecomunicații), metodologia cercetării și dezvoltării rețelelor de telecomunicații trebuie să fie orientată, în primul rând, la eficientizarea utilizării resurselor disponibile, cu condiția efectuării unui volum cât mai mare de lucrări și cu respectarea cerințelor față de calitatea serviciilor acordate.

În acest context, la baza acestei metodologii de cercetare, vom pune ipoteza formulată în [11], conform căreia soluționarea problemelor întru dezvoltarea întregii infra-

structurii informaționale, este lipsa resurselor financiare, a unui buget necesar pentru o abordare sistemică și efectuarea completă și calitativă a acestei componente a infrastructurii informaționale naționale. În acest context, un interes deosebit prezintă cercetările în acest domeniu, orientate către elaborarea unei metodologii de eficientizare a cheltuielilor ce țin de dezvoltarea rețelelor de telecomunicații electronice în condițiile specifice ale Republicii Moldova, dar cu respectarea cerințelor în funcție de criteriile de calitate pe întreg teritoriul țării.

2. Cost assessment methodology and models necessary for the development of the entire electronic communications infrastructure in the country

The development of the national information infrastructure, in general, and of the information networks, in particular, is a complex multidimensional problem and requires a systemic approach. Analysing and generalizing the previous researches, carried out in this field, both in the world and in the Republic of Moldova [11], we can conclude that although Moldova is a relatively small country, the problem of developing the national information infrastructure cannot be solved uniformly throughout its territory. Starting from the country's economic situation (limited financial resources available for the development of telecommunications networks), the research and development methodology of the telecommunications networks must be oriented first and foremost to the efficiency of the use of the available resources, provided that as much work is done as possible and in compliance with the requirements regarding the quality of the services provided.

In this context, the hypothesis formulated in [11] will be put on the basis of this research methodology, according to which

structuri de telecomunicații în țară poate fi realizată prin ajustarea rezultatelor obținute în prezentul articol [11] (a modelelor matematice de descriere și evaluare a costurilor totale pentru rețelele de telecomunicații cu fir și fără fir, elaborate pentru anumite zone teritoriale), extinzându-le și utilizându-le pe întreg teritoriul Republicii Moldova.

Pentru aceasta, vom examina trei etape de realizare a acestei metodologii: 1) *împărțirea întregului teritoriu al Republicii Moldova în zone teritoriale cu diferite cerințe față de criteriile de calitate a serviciilor de comunicații*; 2) *evaluarea costurilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor de comunicații electronice în fiecare zonă teritorială*; 3) *evaluarea costurilor necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de comunicații electronice în țară*.

Astfel, metodologia propusă ar permite soluționarea problemelor de optimizare a costurilor, respectând cerințele în funcție de criteriile de calitate.

3. Rezultatele obținute și discuții

3.1. Împărțirea întregului teritoriu al Republicii Moldova în zone teritoriale cu diferite cerințe față de criteriile de calitate a serviciilor de comunicații

Deși Republica Moldova e o țară relativ mică, factorii de influență la soluționarea problemei de eficientizare a cheltuielilor, ce țin de dezvoltarea rețelelor de telecomunicații, sunt esențial diferiți în diferite zone geografice ale țării. Principalii factori de influență sunt:

- a) nivelul diferit de dezvoltare, deja existent, al rețelelor de comunicații electronice în zonele respective;
- b) densitatea instituțiilor publice și a populației în diferite zone;
- c) prioritățile condiționate de strategia națională de dezvoltare economică a diferitelor zone;

the solution of the problems for the development of the entire telecommunications infrastructure in the country can be achieved by adjusting the results obtained in the given article [11] (of description and evaluation mathematical models of total costs for wired and wireless telecommunications networks, developed for certain territorial areas), extending them and using them for the entire territory of the Republic of Moldova.

In this regard we will examine 3 stages of applying this methodology: 1) *dividing the entire territory of the Republic of Moldova into territorial areas with different requirements regarding the quality criteria of the communication services*; 2) *assessment and optimization of the costs necessary for the development of electronic communications networks in each territorial area*; 3) *assessment of the costs necessary for the development of the entire country's electronic communications infrastructure*.

Thus, the proposed methodology would allow solving the problems of cost optimization respecting the requirements in relation to the quality criteria.

3. Obtained results and discussions

3.1. Dividing the entire territory of the Republic of Moldova into territorial areas with different requirements referring to the quality criteria of the communication services

Although the Republic of Moldova is a relatively small country, the factors influencing the solution of the cost efficiency problem related to the development of telecommunication networks are essentially different in separate territorial areas of the country. The main factors are:

- a) different levels of development of the already existing electronic communications networks in the respective areas;
- b) density of the public institutions and population in different areas;

- d) intensitatea fluxurilor informaționale locale;
- e) cerințele față de volumul și calitatea serviciilor oferite;
- f) bugetul disponibil (inclusiv cel local) pentru astfel de proiecte etc., etc.

Pentru împărțirea întregului teritoriu al Republicii Moldova în zone geografice, dintre care fiecare dispune de condiții și factori de influență specifici și similari, din punct de vedere al necesităților informaționale, al cerințelor față de criteriile de calitate a serviciilor de comunicații electronice și al celorlalți factori de influență enumerați mai sus, sunt necesare investigații speciale ale acestor factori și elaborarea unor propuneri concrete de structurare a teritoriului republicii cu indentificarea acestor zone. Dar considerăm că punctul de pornire în această structurare trebuie să fie recunoașterea diferențelor esențiale dintre următoarele niveluri de IIN:

- a) centrele mari administrative, științifice și culturale, cu densitate înaltă a populației (Chișinău, Bălți);
- b) orașele medii (Orhei, Bender, Ungheni etc.) și centrele raionale;
- c) mediul rural, care include restul teritoriului țării.

Desigur că, la determinarea zonelor geografice (figura 1), din punctul de vedere al dezvoltării IIN, pe lângă aceste orientări prealabile, trebuie luați în considerare și ceilalți factori de influență, menționați anterior. În special, prezintă importanță faptul că nivelul actual de dezvoltare al rețelelor de comunicații electronice e foarte diferit în diverse teritorii. După cum a fost menționat anterior, dacă, în mediul urban, utilizatorii beneficiază de o mai mare diversitate a ofertei de servicii, utilizatorii din mediul rural se confruntă fie cu posibilități limitate de alegere, fie cu lipsa totală a accesului la

- c) priorități condiționate de strategia națională de dezvoltare economică a diferitelor zone;
- d) intensitatea fluxurilor informaționale locale;
- e) cerințele privind volumul și calitatea serviciilor oferite;
- f) bugetul disponibil (inclusiv cel local) pentru astfel de proiecte, etc.

Pentru împărțirea întregului teritoriu al Republicii Moldova în zone geografice, dintre care fiecare dispune de condiții și factori de influență specifici și similari, din punct de vedere al necesităților informaționale, al cerințelor față de criteriile de calitate a serviciilor de comunicații electronice și al celorlalți factori de influență enumerați mai sus, sunt necesare investigații speciale ale acestor factori și elaborarea unor propuneri concrete de structurare a teritoriului republicii cu indentificarea acestor zone. Dar considerăm că punctul de pornire în această structurare trebuie să fie recunoașterea diferențelor esențiale dintre următoarele niveluri de IIN:

- a) centrele mari administrative, științifice și culturale, cu densitate înaltă a populației (Chișinău, Bălți);
- b) orașele medii (Orhei, Bender, Ungheni etc.) și centrele raionale;
- c) mediul rural, care include restul teritoriului țării.

Desigur că, la determinarea zonelor geografice (figura 1), din punctul de vedere al dezvoltării IIN, pe lângă aceste orientări prealabile, trebuie luați în considerare și ceilalți factori de influență, menționați anterior. În special, prezintă importanță faptul că nivelul actual de dezvoltare al rețelelor de comunicații electronice e foarte diferit în diverse teritorii. După cum a fost menționat anterior, dacă, în mediul urban, utilizatorii beneficiază de o mai mare diversitate a ofertei de servicii, utilizatorii din mediul rural se confruntă fie cu posibilități limitate de alegere, fie cu lipsa totală a accesului la

mijloacele de comunicații, chiar aflându-se în afara ariei de acoperire a rețelelor de comunicații electronice mobile. means of communication, even being outside the coverage of mobile electronic communications networks.



Figura 1. Harta RM divizată în zone teritoriale/
Figure 1. Map of RM divided into territorial areas
Sursa: elaborată de autori/ Source: developed by the authors

Deci, și în condițiile când necesitățile informaționale ale utilizatorilor ar fi similare în diferite zone ale țării, problema dezvoltării IIN și a optimizării cheltuielilor necesare ar fi diferită din cauza nivelurilor diferite, deja existente de dezvoltare a rețelelor de comu-

Therefore, even given that the information needs of the users would be similar in different areas of the country, the problem of developing the NII and optimizing the necessary expenditures would be different because of the different already existing levels

nicații electronice în aceste zone.

3.2. Evaluarea cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor de comunicații electronice în fiecare zonă teritorială

În caz general, în aceleași zone teritoriale, ar putea fi dezvoltate, în paralel, atât rețelele de telecomunicații cu fir, cât și fără fir. Pentru ambele tipuri de rețele în [11], [12], au fost elaborate modele matematice de descriere, evaluare și optimizare a costurilor totale pentru dezvoltarea rețelelor de telecomunicații cu fir și fără fir pentru o zonă teritorială concretă. În scopul utilizării acestor modele pentru eficientizarea cheltuielilor necesare la dezvoltarea rețelelor de telecomunicații, pe întreg teritoriul țării, este necesară ajustarea acestor modele la diferite zone teritoriale, în dependență de criteriile de calitate și factorii de influență caracteristici pentru fiecare zonă conexă, precum și calcularea cheltuielilor respective.

În modelele matematice, deja elaborate în [11], se introduce indexul zonei teritoriale (geografice) ZG_l ca variabilă suplimentară la cele, deja discutate. Principala componentă a modelului de evaluare, a costurilor necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de comunicații electronice în țară, este modelul de calculare a cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor de comunicații electronice în fiecare zonă teritorială.

Costul rețelei în raport cu zona geografică ZG_l :

$$CZG_l = K_l^1 \times CRCF_l + K_l^2 \times CRFF_l, \tag{1}$$

unde:

- $CRCF_l$ exprimă costul rețelei cu fir în ZG_l ;
- $CRFF_l$ – costul rețelei fără fir în ZG_l ;
- Coefficienții $K_l^1, K_l^2 \in \{0,1\}$,
- $K_l^1 + K_l^2 \in \{1,2\}$.

of development of the electronic communications networks in these areas.

3.2. The evaluation of the expenses necessary for the development of electronic communications networks in each territorial area

Generally, in the same territorial areas, both wired and wireless telecommunications networks could be developed in parallel. For both types of networks in [11] and [12] mathematical models of description, evaluation and optimization of the total costs for the development of wired and wireless telecommunications networks for a specific territorial area were elaborated. In order to use these models to make the necessary expenses more efficient in the development of telecommunications networks throughout the country, it is necessary to adjust these models to different territorial areas depending on the quality criteria and influence factors, characteristic for each connected area, as well as the calculation of the respective expenses.

In the mathematical models already elaborated in [11], the index of the territorial (geographical) ZG_l is introduced as an additional variable to those already discussed. The main component of the cost assessment model required for the development of the entire electronic communications infrastructure in the country is the calculation model of the expenditures necessary for the development of electronic communications networks in each territorial area.

The cost of the network in relation to the territorial area ZG_l :

where:

- $CRCF_l$ – cost of wired network in ZG_l ;
- $CRFF_l$ – cost of wireless network in ZG_l ;
- Coefficients $K_l^1, K_l^2 \in \{0,1\}$,
- $K_l^1 + K_l^2 \in \{1,2\}$.

Prin urmare, variantele posibile pentru setul (K_l^1, K_l^2) sunt: (1,0); (0,1); (1,1).

Formula (1) exprimă costul total al rețelei ($K_l^1 = 1, K_l^2 = 0$ sau $K_l^1 = 0, K_l^2 = 1$), sau rețelelor ($K_l^1 = 1, K_l^2 = 1$) corespunzător ZG_l .

Remarcă: Dacă a priori sunt determinate cerințele asupra calității rețelei pentru $ZG_l, QRZG_l$, atunci problema minimizării costului total al rețelei pentru zona geografică dată l are forma:

$$CZG_l \rightarrow \min;$$

$$IQ^l \div QRZG_l,$$

unde $CRCF_l$ are aspectul formulei:

$$Cf_R = \sum_{i=1}^n Cf_i, \tag{2}$$

ajustată la zona geografică l ;
 $CRFF_l$ se prezintă prin formula:

$$C_R = \sum_{i=1}^{n(d)} C_i, \tag{3}$$

la fel ajustată în raport cu zona l .

Precizăm că valorile Cf_i și C_i reprezintă costurile totale de implementare a unei centrale în locația i a zonei geografice date, pentru rețelele cu fir și fără fir, corespunzător, această zonă fiind constituită din n locații.

Chiar dacă unul din aceste tipuri de rețea nu ar fi inclus în strategia de dezvoltare, modelul matematic ar fi același ca în cazul când se dezvoltă ambele tipuri.

3.3. Evaluarea cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de comunicații electronice în țară

Modelele examinate în etapa precedentă asigură **optimizarea** cheltuielilor pentru dezvoltarea rețelelor de comunicații electronice, în condițiile respectării tuturor cerințelor specifice față de volumul și calitatea serviciilor informaționale specifice pentru zonele respective. Deci, putem concluda că **suma**

Therefore, the possible variants for the set (K_l^1, K_l^2) are: (1,0); (0,1); (1,1).

Formula (1) expresses the total cost of the network ($K_l^1 = 1, K_l^2 = 0$ or $K_l^1 = 0, K_l^2 = 1$), or networks ($K_l^1 = 1, K_l^2 = 1$) corresponding ZG_l .

Note: If the network quality requirements are determined in advance for $ZG_l, QRZG_l$, then the problem of minimizing the total cost for the given territorial area l has the form:

where $CRCF_l$ is presented by the formula:

adjusted to the territorial area l ;
 $CRFF_l$ is presented by the formula:

also adjusted to the territorial area l .

We specify, that the values Cf_i and C_i represent the total costs of implementing a base station at the given location i of territorial area, for the wired and wireless networks, as appropriate; this area being made up of n locations.

Even if one of these types of network were not included in the development strategy, the mathematical model would be the same as if both types were developed.

3.3. Evaluation of the expenses necessary for the development of the entire country's electronic communications infrastructure

The models examined at the previous stage ensure **the optimization** of the expenses for the development of electronic communications networks, in compliance with all the specific requirements regarding the

cheltuielilor optimizate în fiecare zonă geografică a țării va prezenta **cheltuielile totale** necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de rețele de comunicații electronice naționale.

Astfel, pornind de la modelele de evaluare și optimizare a costurilor prezentate anterior (pentru rețelele cu fir și fără fir), **cheltuielile totale** necesare pentru dezvoltarea întregii infrastructuri de rețele de comunicații electronice naționale se vor calcula după un model agregat. Pentru aceasta, introducem următoarele notații:

ZG_l – zona geografică l ($l = 1, 2, 3, \dots, L$);

RZG_l – rețeaua zonei geografice l ;

MZG_l – modelul de evaluare a costurilor rețelei din zona geografică l ;

CZG_l – costul rețelei de telecomunicații în zona geografică l ;

$QRZG_l$ – cerințele asupra calității rețelei pentru zona geografică l ;

IQ^l – indicatori de calitate a rețelei pentru zona geografică l .

Modelul de evaluare a costurilor rețelei din zona geografică l se poate prezenta succint într-una din următoarele trei forme:

volume and quality of the specific information services for the respective areas. Therefore, we can conclude that the **sum of the optimized expenditures in each territorial area of the country will present the total expenditures** necessary for the development of the entire infrastructure of national electronic communications networks.

Thus, based on the models of evaluation and optimization of the costs presented above (for the wired and wireless networks), the **total expenses** necessary for the development of the entire infrastructure of the national electronic communications networks will be calculated according to an aggregated model. For this, the following notations are introduced:

ZG_l – geographical area l ($l = 1, 2, 3, \dots, L$);

RZG_l – geographical area network l ;

MZG_l – network costs evaluation models in the geographical area l ;

CZG_l – cost of network in relation to the geographical area l ;

$QRZG_l$ – network quality requirements for the geographical area l ;

IQ^l – network quality indicators for the geographical area l .

The network costs assessment model in the geographical area l can be presented briefly in one of the following three forms:

$$MZG_l = \begin{cases} MCF_l \\ MFF_l \\ MCF_l \text{ și } MFF_l \end{cases}$$

unde:

MCF_l exprimă modelul de evaluare a costului rețelei cu fir în zona teritorială l ;

MFF_l – modelul de evaluare a costului rețelei fără fir în zona teritorială l .

În unele situații, ar fi rațional ca fiecărei zone geografice să i se atribuie o pondere (prioritatea zonei date – P_l), adică $ZG_l \rightarrow P_l > 0, l = \overline{1, L}$. Prin prioritate, putem

where:

MCF_l – evaluation model of wired network cost in the territorial area l ;

MFF_l – evaluation model of wireless network cost in the territorial area l .

In some situations it would be rational for each territorial area to be assigned a weight (priority of the given area – P_l), $ZG_l \rightarrow P_l > 0, l = \overline{1, L}$. By priority we can

subînțelege ordinea de execuție a lucrărilor pe zonele respective în dependență de unii factori obiectivi și subiectivi, precum: strategii de dezvoltare, decizii politice etc.

understand the order of execution of the works on the respective areas depending on some objective and subjective factors, such as: development strategies, political decisions, etc.

$$\text{Fie/ Let } P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_L \text{ și } \sum_{l=1}^L P_l = 1 .$$

Să admitem că, pentru dezvoltarea rețelei Republicii Moldova se alocă un buget clar determinat **B**. Pentru fiecare zonă, va fi suportat un cost total C_l . Fie că zonei l , de exemplu, îi corespunde acoperirea hexagonală, determinată prin simularea S , iar C_l^S reprezintă costul rețelei pentru ZG_l (figura 2).

Let us admit that for the development of the Moldovan telecommunications network, a clearly determined budget **B** is allocated. A total cost C_l will be incurred for each area. Let area l , for example, corresponds to the hexagonal coverage with the diameter of the hexagon determined by simulation S , while C_l^S represents the cost of the network for ZG_l (figure 2).

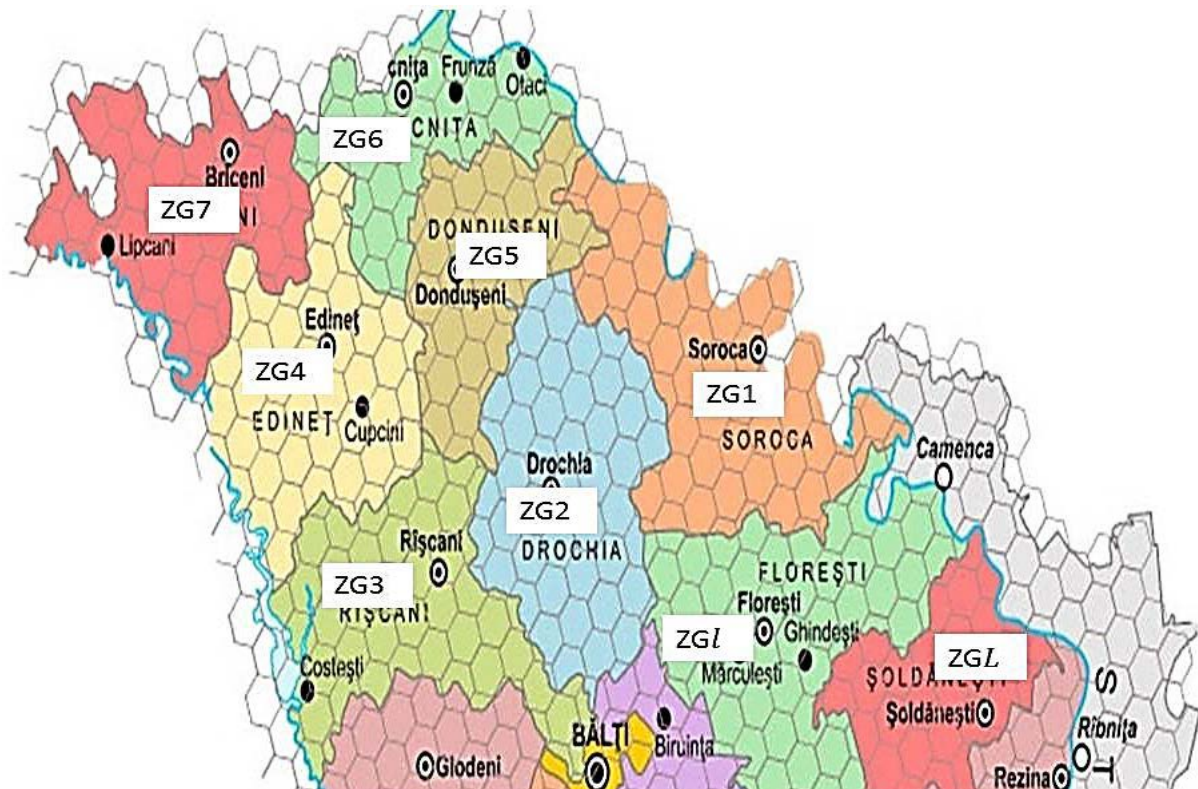


Figura 2. Datele din zonele teritoriale pentru calcularea costului total al rețelei de telecomunicații pentru întreg teritoriul țării/ Figure 2. Data from the territorial areas for calculating the total cost of the telecommunications network for the whole country

Sursa: elaborată de autori/ Source: developed by the authors

Dacă costul total al rețelei Republicii Moldova, simulate în urma scenariului S, nu depășește bugetul B, adică: $C_1^S + C_2^S \dots + C_l^S \dots + \dots + C_L^S \leq B$ și pe orice zonă se respectă criteriile de calitate înaintate, atunci putem afirma că bugetul B este suficient pentru elaborarea unei rețele funcționale pe întreg teritoriul Republicii Moldova.

Cu alte cuvinte, bugetul B alocat este suficient pentru elaborarea rețelei Republicii Moldova, având posibilitatea, totodată, de a economisi o parte din acest buget pentru alte proiecte, deoarece este evident că, în varianta optimă, din punctul de vedere al costurilor, costul minimal total al rețelei Republicii Moldova nu va depăși bugetul B.

Relației $IQ^l \div QRZG_l$ i se atribuie următoarea semnificație: indicatorii de calitate IQ^l selectați pentru zona l respectă, în totalitate, cerințele a priori înaintate pentru această zonă. La modificarea razei hexagonului în direcția creșterii diametrului acestuia, variază acești indicatori, iar pentru unele valori ale diametrului respectiv, unii dintre acești indicatori pot fi inadmisibili.

Modelul general, conform notațiilor poate fi redat astfel:

If the total cost of the Moldovan telecommunications network simulated as a result of scenario S does not exceed the budget B, then: $C_1^S + C_2^S + C_3^S + \dots C_L^S \leq B$ and in any area, the submitted quality criteria are respected, then we can say that the budget B is sufficient to develop a functional network throughout the Republic of Moldova.

In other words, the allocated budget B is sufficient for the development of the Moldovan network having the possibility to save part of this budget for other projects because it is obvious that in the optimum cost perspective, the total minimum cost of the Moldovan network will not exceed budget B.

For expression $IQ^l \div QRZG_l$ it is given the following meaning: the quality indicators IQ^l selected for area l fully complies with the prior requirements for this area. When changing the radius of the hexagon in the direction of increasing its diameter these indicators vary, and for some values of the respective diameter, some of these indicators may be inadmissible.

The general model, according to the notations, can be reproduced in this way:

$$CZG_1 + CZG_2 + \dots CZG_l + \dots CZG_L \rightarrow \min,$$

cu condiția că,

provided that,

$$IQ^l \div QRZG_l \quad (l = 1,2,3, \dots L).$$

Remarcă: Dacă a priori sunt determinate cerințele asupra calității rețelei pentru ZG_l , $QRZG_l$, atunci problema minimizării costului total pentru toate L zone geografice:

Note: If from the beginning the requirements on the quality of the network are determined for ZG_l , $QRZG_l$, then the problem of minimizing the total cost for all L territorial areas:

$$\sum_{l=1}^L CZG_l \rightarrow \min; \quad IQ^l \div QRZG_l \quad (l = 1,2,3, \dots L),$$

se reduce la L probleme de optimizare pentru zonele teritoriale respective:

$$CZG_l \rightarrow \min;$$

$$IQ^l \div QRZG_l (l = 1, 2, 3, \dots, L).$$

În acest caz evident, are loc relația:

$$\min_{IQ^1, \dots, IQ^L} \sum_{l=1}^L CZG_l = \sum_{l=1}^L \min_{IQ^l} CZG_l, \quad (4)$$

ceea ce denotă că costul optimal total al rețelei de telecomunicații pe țară se constituie din suma costurilor minimale ale rețelelor corespunzătoare celor L zone geografice.

4. Aplicația informatică

CoverageMap

Pentru facilitarea identificării rețelei de cost optimal, în baza modelelor descrise anterior, a fost elaborată o aplicație informatică **CoverageMap**. Aplicația ajută la generarea automatizată a costurilor totale pentru rețelele de telecomunicații fără fir, în baza modelelor matematice care pot fi utilizate la proiectarea și edificarea unor rețele noi, dar și la analiza, și optimizarea rețelelor deja existente.

Cu ajutorul **CoverageMap**, pot fi realizate anumite scenarii admisibile, selectând dintre toate acestea varianta preferată. Aplicația informatică facilitează identificarea rețelei de cost optimal, respectând, concomitent, cerințele cu privire la asigurarea calității de emisie a informației.

Algoritmul programului informatic funcționează în conformitate cu următorii pași:

1. Pe hartă se selectează zona teritorială, care trebuie acoperită cu rețele;
2. Se calculează coordonatele maxime și minime ale zonei teritoriale;
3. Se calculează centrul zonei teritoriale;
4. Se setează raza inițială a hexagonului = **parametru: Initial hexagon radius;**

can be reduced to L optimization problems for the respective zones:

In this case, we have:

which means that the total minimum (optimized) cost of the telecommunications network in the country is the sum of the minimum (optimized) costs of the networks corresponding to the L territorial areas.

4. Computer application

CoverageMap

In order to facilitate the identification of the optimal network cost, based on the models described above, a computer application **CoverageMap** was developed. The application helps to automatically generate the total costs for wireless telecommunications networks based on the mathematical models, which can be used to design and build new networks, but also to analyse and optimize existing networks.

Due to **CoverageMap**, certain allowable scenarios can be realized, selecting from all of them the preferred version. The computer application facilitates the identification of the optimal network cost, while, at the same time, meeting the requirements regarding the quality of information transmission.

The algorithm of the computer program works in accordance with the following steps:

1. The territorial area to be covered with networks on the map is selected;
2. Maximum and minimum coordinates of the territorial area are calculated;
3. Centre of the territorial area is calculated;
4. Initial radius of the hexagon is set = **parameter: Initial hexagon radius;**

5. Începând cu centrul determinat din Pasul 3, se trasează hexagoane atâta timp, cât ele se află în zona teritorială selectată;
6. Se modifică raza hexagonului cu **Parametru Δd^*** (mărand-o sau micșorând-o, în dependență de respectarea sau nerespectarea criteriilor de calitate) și se repetă de la Pasul 4;
7. Când numărul de hexagoane ajunge la indicele calculat, conform coordonatelor maxime și minime după suprafață – ne oprim.

Structura softului. Aplicația cuprinde câteva module și anume:

- Modulul de încărcare a datelor cu calcule;
- Modulul de definire a parametrilor;
- Modulul de bază al aplicației și lucrul cu harta geospațială;
- Modulul de calcul al soluției optime;
- Modulul de prezentare grafică a costurilor.

Aplicația este bazată pe componentele GeoSpatiale: DotSpatial 1.9 și este scrisă pe tehnologia .Net. Limbajul de programare utilizat este C#, iar mediul – Visual Studio.

DotSpatial este o bibliotecă de sisteme de informații geografice scrise pentru .NET Framework. Acesta permite dezvoltatorilor să integreze, în aplicațiile lor, datele de spațiu, analiza și cartografierea sau să contribuie la extinderea GIS comunității.

DotSpatial oferă un control al hărții pentru .NET și mai multe capabilități GIS, inclusiv:

- afișează harta într-un .NET Windows Forms;
- deschide fișierele de formă, grilele, rasterurile și imaginile;
- crează o simbologie și etichete de redare;
- reprojecțiază în zbor;

5. Starting with the centre calculated in step 3, hexagons are drawn as long as they are in the selected territorial area;
6. The radius of the hexagon with **Parametru Δd^*** is modified (increasing or decreasing it in accordance with the quality criteria) and is repeated from step 4;
7. When the number of hexagons reaches the index calculated according to the maximum and minimum coordinates of the territorial area – we stop.

Software structure. The application includes several modules, namely:

- The module for loading data with calculations;
- The module for defining the parameters;
- Basic module of the application and working with the geospatial map;
- The module for calculating the optimal solution;
- The module of graphical presentation of costs.

The application is based on GeoSpatial components: DotSpatial 1.9 and is written on .Net technology. The programming language used is C#, and the Visual Studio environment.

DotSpatial is a library of geographic information systems written for the .NET Framework. It allows developers to integrate spatial data, analysis and mapping into their applications or contribute to the expansion of the GIS community.

DotSpatial offers map control for .NET and more GIS capabilities, including:

- displays the map in a .NET Windows Forms;
- opens form files, grids, rasters and images;
- creates symbols and play tags;
- redesign in-flight;

- manipulează și afișează datele despre atribute;
- analizează științific informația;
- citește datele GPS etc.

Baza informațională cuprinde date despre numărul de site-uri optime și cheltuielile estimative pentru o anumită arie. Aceste date au fost calculate separat de aplicație și sunt ca o bază de cunoștințe pentru aceasta.

Ca parametri pentru aplicație figurează:

- aria terenului selectat de utilizator – se calculează automat;
- raza inițială a hexagonului – se introduce în forma de mai jos, figura 3;
- **Parametru Δd^*** – care reprezintă dimensiunea cu care se va mări raza hexagonului la fiecare iterație;
- Q2, Q1 – nivelul de calitate dorit. Sunt disponibile 2 categorii: Q2 max = - 8 dB, Q1 min = 40 ms și Q2 min = -15 dB, Q1 max=200 ms.

Nivelul de complexitate de exploatare a aplicației. CoverageMap este aplicație desktop, care lucrează în sistemul de operare Windows. Este o aplicație intuitivă și dă ușor posibilitatea de a opera cu aceasta. Etapele de calcul sunt descrise sub formă de pași distincți (Step1-Step3) din meniul de bază Algorithm. În **Pasul 1**, se încarcă harta, în versiunea curentă este predefinită harta Republicii Moldova. Se poate încărca orice hartă în formatul **.shp**. **Pasul 2** se selectează zona pentru care se dorește acoperirea. Aceasta se face prin click pe hartă, prin care se desenează un poligon. **Pasul 3** – este pasul de desenare/ calculare a acoperirii. În acest pas, se desenează toate variantele până la cea optimă. La identificarea soluției optime, algoritmul se oprește. Adăugător, se poate vizualiza graficul soluțiilor identificate. Acesta se obține prin tastarea meniului Graph.

- manipulates and displays data about attributes;
- analyses scientific information;
- reads GPS data, etc.

The information base includes data on the number of optimal sites and estimated costs for a particular area. These data have been calculated separately by the application and are as a knowledge base for it.

As parameters for the application are:

- the area of the land selected by the user – is calculated automatically;
- the initial radius of the hexagon – is inserted in the form below, figure 3;
- **Parameter Δd^*** – which represents the dimension with which the radius of the hexagon will be increased at each iteration;
- Q2, Q1 – the desired quality level. There are 2 categories available: Q2 min = -8 dB, Q1min = 40ms and Q2max = -15 dB, Q1max = 200ms.

The complexity level of CoverageMap application operation is a desktop application, which works on the Windows operating system. It is an intuitive application and gives the easy possibility to work with it. The calculation steps are described in the form of separate steps (Step1-Step3) in the Algorithm basic menu. In **Step 1** the map is loaded, in the current version the map of the Republic of Moldova is predefined. Any map can be loaded in **.shp** format. **Step 2** selects the area for which the coverage is desired. This is clicked on the map where a polygon is drawn. **Step 3** – is the drawing/ calculation step of the cover. In this step all solutions are drawn to the optimal one. When the optimal solution is identified, the algorithm stops. In addition, the graph of the identified solutions can be viewed. This is obtained by typing the Graph menu.

Parameters/Variable	Value
Area size	<input type="text"/>
BWA parameter:Ps, Gs, Gi, f	19 dBm, 15 dB, 28 dB, 24,5 GHz
M	radio
Initial Hexagon Radius	1,500
Δd^*	0,500
ΔR	64 kbps
H, V	M/M/1/S, TDMA
W, link availability	4QAM, 99,999%
Q2{S/Tr}, Q1{t}	Q2 min = -8 dB, Q1min = 40ms

OK CANCEL

Figura 3. Fereastra de dialog cu parametrii inițiali/

Figure 3. The dialog box with the initial parameters

Sursa: elaborată de autori/ Source: developed by the authors

Luând în considerare dimensiunea poligonului selectat și parametri inițiali (raza inițială a hexagonului și parametru Δd^*), se pot obține soluții rapide, dar costisitoare și cu marja de eroare a acoperirii foarte mare sau, micșorând acești parametri, se poate consuma mai mult timp, dar calitatea calculelor vor fi mai exacte. Ca și în orice algoritm, câștigând în timp, pierdem în calitate și invers. Aici, cel mai bine este de identificat valorile medii prin introducerea diferitelor valori ale parametrilor.

Concluzii

În baza metodelor și modelelor matematice de descriere, evaluare și optimizare a

Considering the size of the selected polygon and initial parameters (the initial radius of the hexagon and parameter Δd^*) it is possible to obtain fast, but expensive solutions and with the margin of error of the very large coverage or by reducing these parameters it can be consumed more time, but the quality of the calculations will be more accurate. As with any algorithm, gaining in time we lose in quality and vice versa. Here it is best to identify the average values by entering different values of the parameters.

Conclusions

Based on the mathematical methods and models of cost description, evaluation

costurilor pentru rețelele de telecomunicații cu fir și fără fir, elaborate în [11] și [12] și ajustate pentru zone geografice aparte, a fost elaborat un model matematic generalizat de evaluare a costurilor pentru cazul general de dezvoltare a infrastructurii de telecomunicații pe întreg teritoriul țării.

Pentru evaluarea costurilor, în conformitate cu acest model și întru dezvoltarea întregii infrastructuri de telecomunicații la nivel național, a fost propusă o metodologie, realizată în 3 etape:

- 1) identificarea zonelor teritoriale cu diferite cerințe față de volumul și criteriile de calitate ale serviciilor de comunicații, împărțind întreg teritoriul țării în astfel de zone;
- 2) ajustarea modelului matematic generalizat de evaluare a cheltuielilor necesare pentru dezvoltarea rețelelor de telecomunicații în conformitate cu condițiile specifice în fiecare zonă teritorială, identificată la prima etapă și calcularea cheltuielilor respective;
- 3) calcularea cheltuielilor totale, necesare pentru dezvoltarea infrastructurii de comunicații electronice pe întreg teritoriul țării, după soluționarea problemei de optimizare a cheltuielilor pentru dezvoltarea rețelelor de comunicații electronice, în fiecare zonă geografică aparte.

Metodologia examinată permite soluționarea problemelor de optimizare a costurilor, respectând cerințele în raport cu criteriile de calitate.

Pentru rețelele de telecomunicații fără fir, în baza unui studiu de caz, folosind diferite variante cu privire la criteriile de calitate, a fost elaborată o aplicație informatică de realizare a algoritmului euristic de acoperire optimă a zonelor geografice cu hexagoane, în centrul cărora urmează să fie amplasate stațiile de emisie.

and optimization for wired and wireless telecommunications networks, developed in [11] and [12] and adjusted for particular territorial areas, a generalized mathematical model of cost evaluation has been developed for the general case of telecommunications infrastructure development for the whole territory of the country.

In order to evaluate the costs according to this model and in order to develop the entire telecommunications infrastructure in the country, a methodology of cost optimization was proposed, which is carried out in 3 stages:

- 1) identification of the territorial areas with different requirements regarding the volume and quality criteria of the communication services, dividing the entire territory of the country in such areas;
- 2) adjustment of the generalized mathematical model for the evaluation of the expenses necessary for the development of the telecommunications networks according to the specific conditions in each territorial area, identified at the first stage and the calculation of the respective expenses;
- 3) calculation of the total expenditures, necessary for the development of the electronic communications infrastructure throughout the country, after solving the problem of optimizing the expenses for the development of the electronic communications networks, in each particular geographical area.

The examined methodology allows the solution of the problems of cost optimization respecting the requirements in relation to the quality criteria.

For the wireless telecommunications networks, based on a case study, using diffe-

Algoritmul realizează, în mod iterativ, creșterea diametrului hexagoanelor până la valoarea în care următoarea creștere conduce la nerespectarea, cel puțin, a unuia din criteriile de calitate. În acest mod, poate fi determinată structura rețelei de cost minimal. Cu ajutorul modelelor propuse, pot fi realizate anumite scenarii admisibile, selectând dintre toate acestea varianta preferată. La utilizarea anumitor algoritmi combinatorii sau euristici, modelele facilitează identificarea rețelei de cost optimal, respectând, concomitent, cerințele cu privire la asigurarea calității de emisie a informației.

Aplicația informatică elaborată permite facilitarea semnificativă a procesului de optimizare a cheltuielilor, ce țin de dezvoltarea rețelelor de telecomunicații atât în fiecare zona teritorială concretă, cât și pe întreg teritoriul țării.

rent variants on the quality criteria, a computer application has been developed to make the heuristic algorithm for optimal coverage of the territorial areas with hexagons, in the centre of which is to be broadcast stations located.

The algorithm iteratively increases the diameter of the hexagons up to the value where the next increase leads to failure to meet at least one of the quality criteria. In this way the structure of the minimum cost network can be determined. With the proposed models, certain permissible scenarios can be realized, selecting from all of them the preferred solution. Using certain combinatorial or heuristic algorithms, the models facilitate the identification of the optimal cost network, while at the same time meeting the requirements regarding the quality of information transmission.

The elaborated computer application allows significant facilitation of the process of optimizing the expenses related to the development of telecommunications networks both in each specific territorial area and throughout the country.

Bibliografie/ Bibliography:

1. ANDRONATIEV, Victor. *Elaborarea și cercetarea modelelor și algoritmilor de eficientizare a utilizării resurselor rețelelor informatice locale*. Teza de doctor în economie. Teza susținută pe 30 octombrie 2009 în CSS și aprobată de CNAA pe 18 martie 2010. Academia de Studii Economice din Moldova, Chișinău, 2010. 192 p.
2. BOLUN, Ion. Rețelele informatice în societatea modernă. În: *Tendențe în dezvoltarea tehnologiilor informaționale și comunicaționale în domeniul învățământului și managementului: conf.internaț., 20-21 martie 2003*. Chișinău: Editura ASEM, 2003. p. 31-45, ISBN 9975-75-179-2.
3. BOLUN, Ion. *Macrosinteza rețelelor de calculatoare*. Chișinău: Editura Academiei de Studii Economice din Moldova, 1999. - 265 p.
4. BOLUN, Ion; CIUMAC, Anatol. Configuration of local area network set of servers. In: *Computer Science Journal of Moldova, vol. 10, No. 2(29), 2002*. Chisinau: IMCS. p. 99-124, ISSN 1561-4042, (1,6 c.a.).

5. CIUMAC, Anatol. *Modele si algoritmi de configurare a setului de servere pentru rețelele locale*. Teză de doctor în tehnică. Teza a fost susținută pe 30 noiembrie 2007 în CSS și aprobată de CNAA pe 24 ianuarie 2008. ASEM. 2007. 142 p.
6. KANTOR, E.; LOTKER, Zvi; PARTER, Merav and PELEG, David. The Topology of Wireless Communication. In: *Journal of the ACM*, Vol. 62, No. 5, Article 37, Publication date: October 2015. Pp.37:1 37:32
7. GRMAILA, V.; LISTOPADSKIS, N. *Optimization of telecommunication access network*. ELECTRONICS AND ELECTRICAL ENGINEERING. 2006. No. 8(72) Kaunas University of Technology. Department of Applied Mathematics. Lithuania. P.25-30. ISSN 1392 – 1215.
8. PEREIRA, Pedro; RIBEIRO, Tiago. *The impact on broadband access to the Internet of the dual ownership of telephone and cable networks*. International Journal of Industrial Organization. Mar2011, Vol. 29 Issue 2, p. 283-293. 11 p.
9. RAJESWARI, Malladi and DHARMA, R. Agrawal. *Current and Future Applications of Mobile and Wireless Networks*. COMMUNICATIONS OF THE ACM . October 2001/Vol. 45. No. 10, pp.144-146.
10. DEKLEVA, Sasha; SHIM, J.P.; VARSHNEY, Upkar, and KNOERZER, Geoffrey. *Evolution and Emerging Issues in Mobile Wireless Networks*. COMMUNICATIONS OF THE ACM. June 2007 / Vol. 50, No. 6, pp. 38-43.
11. VARANIȚA, Grigore; GODONOAGA, Anatol; COSTAȘ, Ilie. Models of wireline and wireless telecommunications network costs evaluation/ Modele de evaluare a costurilor rețelelor de telecomunicații prin fir și fără fir. In: *Economica, An.XXVIII, nr.2* (108), iunie 2019. 10/3, p.103-117, ISSN 1810-9136.
12. VARANIȚA, Grigore; GODONOAGA, Anatol; COSTAS, Ilie. A model of wireline based telecommunications network costs evaluation. Model de evaluare a costurilor rețelelor de telecomunicații prin fir. In: *Conferință științifică internațională Competitivitate și inovare în economia cunoașterii 28-29 septembrie 2018*, ASEM, Chișinău, p.40-42. E-ISBN 978-9975-75-934-2., 5/na