

654:[657.474.57:330.42](478)

MODELE DE EVALUARE A COSTURILOR REȚELELOR DE TELECOMUNICAȚII PRIN FIR ȘI FĂRĂ FIR

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

În prezenta lucrare, se propun modele matematice discrete pentru evaluarea costurilor rețelelor de telecomunicații cu fir și fără fir. Aceste modele vizează facilitarea identificării costului optim al rețelelor de telecomunicații și sugerează anumite scenarii admisibile, dintre toate acestea, selectând varianta preferată. Utilizând anumiți algoritmi combinatorii sau euristici, modelele identifică rețele cu cost optimal, respectând, concomitent, cerințele calității de emisie a informației pentru fiecare zonă cu criteriile respective de calitate. Pentru cazul general de extindere și optimizare a costurilor rețelelor pe întreg teritoriul țării, sunt formulate următoarele recomandări: în dependență de criteriile de calitate, diferite pentru fiecare zonă conexasă, se concretizează modelele de evaluare a costurilor descrise. Astfel, metodologia examinată ar permite soluționarea problemelor de optimizare a costurilor respectând cerințele în raport cu criteriile de calitate pe întregul teritoriu al țării.

Cuvinte-cheie: rețea de telecomunicații prin fir și fără fir, model matematic discret-combinatorial, evaluarea costului, optimizarea, modularea.

JEL: C6.

654:[657.474.57:330.42](478)

MODELS OF WIRELINE AND WIRELESS TELECOMMUNI- CATIONS NETWORK COSTS EVALUATION

PhD candidate Grigore VARANIȚA, ASEM
Program Coordinator of the United Nations
Conference on Trade
and Development in Turkmenistan,
grigore.varanita@gmail.com
Assoc. Prof. PhD Anatol GODONOAGA, ASEM,
anagodon22@yahoo.com
Professor Hab. Dr. Ilie COSTAS, ASEM,
costas.ilie@yahoo.com

The discrete mathematical models, described in the article, are oriented for wireline and wireless telecommunications networks costs evaluation. The models are aimed to facilitate the identification of the optimal cost and can help implement certain admissible scenarios. While using some combinatorial or heuristic algorithms, the models facilitate the identification of the optimal networks cost, concomitantly observing the requirements for ensuring the quality of the information emission for each area. The following recommendations are formulated for the general case of extending and optimizing the costs throughout the country: depending on the quality criteria, different for each related area, the models for assessing the costs are described. Thus, the examined methodology would allow the resolution of cost optimization problems in compliance with the requirements in relation to quality criteria throughout the country.

Keywords: wireline/wireless telecommunications network, discrete mathematical model, cost evaluation, optimization, modulation.

JEL: C6.

Introducere

Procesul de optimizare a unei rețele de telecomunicații poate fi orientat în mai multe direcții [1-3], principalele dintre ele fiind: asigurarea cât mai eficientă a fluxurilor informaționale în țară, minimizarea consumului de resurse materiale necesare pentru realizarea și menținerea rețelelor, reducerea costurilor rețelei, sporirea calității emisiilor etc. Soluționarea unor astfel de probleme de optimizare este necesară atât la etapele de creare a rețelelor noi de telecomunicații, cât și la etapele de modernizare a rețelelor deja existente.

În acest articol, accentul se pune pe unele dintre aspectele importante, precum modelarea și optimizarea costurilor rețelelor de telecomunicații.

Metode de cercetare

Un limbaj comod de analiză, dar și de optimizare a rețelei îl constituie limbajul grafurilor. De exemplu, în figura 1, arborele constituit din muchiile reprezentate cu linie punctată ar putea indica conexiunile dintre nodurile beneficiarilor (clienților), purtând informația costurilor, resurselor alocate în rețeaua de telecomunicații și calitatea de modulare, atunci când aceasta se află în faza inițială de funcționare.

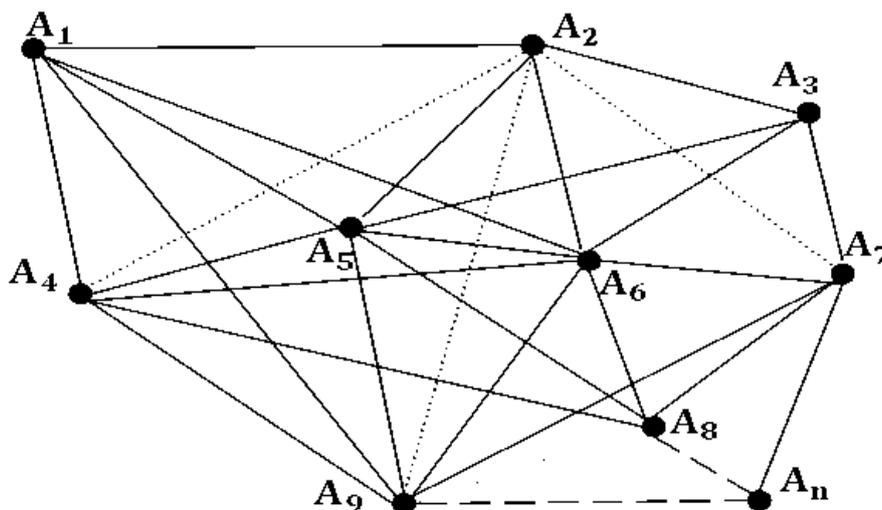
Introduction

The process of a telecommunication network optimization can be oriented to several directions [1, 2, 3], the main of which are: ensuring the most efficient flow of information in the country, minimizing the consumption of material resources needed to roll out and maintain the networks, reducing network costs, increasing the quality of emissions, etc. Addressing such optimization problems is necessary both at initial stages of new telecommunications networks rollout and at further stages of the modernization of existing networks.

This article focuses on one of the important issues, such as modelling and optimization of telecommunication networks costs.

Research Methods

An easy-to-use language for analysis, as well as for network optimization is the language of the graphs. For example, in figure 1, the tree consisting of edges represented by a dotted line could indicate the connections between the beneficiaries' (customers') nodes bearing the information on costs, resources allocated to the telecommunications network and the modulation quality, when the network is at the initial phase of operation.



**Figura 1. Efectul procesului de optimizare a rețelei/
Figure 1. The effect of network optimization process**
Sursa: elaborată de autori/ Source: developed by the authors

De regulă, procedura de optimizare se realizează prin selectarea iterativă a acelor muchii ale arborelui de acoperire a rețelei din mulțimea muchiilor grafului complet (ce s-ar interpreta ca o rețea inițială), care ar asigura optimizarea cheltuielilor totale, adică minimizarea acestora. Procesul de evidențiere a unui asemenea arbore este iterativ și, la fiecare iterație, se constată sau diminuează costul rețelei, sau îmbunătățirea unor indicatori calitativi ai acesteia, desigur, având a priori un set de indici doriți. Conform fundamentărilor teoretice din teoria optimizării grafurilor, se cunoaște că un asemenea arbore există, ceea ce prezumă, nu neapărat, că acesta ar putea fi unic. Prezintă importanță faptul că algoritmi existenți sunt capabili să identifice rețeaua optimă, indiferent de contextul în care este formulată problema.

În continuare, în calitate de vârfuri ale grafului, se vor considera punctele de amplasare a stațiilor.

În cazul optimizării rețelei de acces, ca regulă, valorile variabilelor de bază sunt discrete, unele dintre ele neavând chiar valoare numerică, de exemplu, tipurile de modulare: QPSK, 4QAM, 16QAM, 64QAM ș.a. Prin urmare, implementarea optimizării continue nu poate fi, în mod direct, aplicată pentru asemenea situații.

În caz general, funcția *cost* poate fi formulată astfel [4]:

$$C=f(A, T), A \in \mathbf{A}, T \in \mathbf{T}, A=(B,L), T=(M,R,H,V,W,G), \quad (1)$$

unde:

C exprimă costul implementării rețelei;
A – variabila limitei rețelei de acces;
B – dimensiunea elementului-grilă (aria suprafeței, în km²);
L – dimensiunea (aria suprafeței, în km²) zonei de delimitare;
T – variabilele folosite în tehnologia rețelei de acces;
M – tipul canalului de transmisie;
R – viteza transmiterii datelor, kbps;
H – disciplina pentru serviciul de pachet de date;
V – metoda de acces;

As a rule, the optimization procedure is performed by iteratively selecting those edges of the network tree from the range of edges of the entire graph (which would be interpreted as an initial network) that would ensure the total cost optimization, i.e. total cost minimization. The process of highlighting such a tree is iterative, and with every iteration, either the decrease of the network cost or the improvement of its qualitative indicators is found, of course, having a set of desired indices in advance. It is known, according to the theoretical fundamentals in the graph optimization theory, that such a tree exists, it might not necessarily be unique. What is important is that the existing algorithms are able to identify the optimal network, no matter in what context the problem is formulated.

Further, the peaks of the graph will be considered the points of based stations locations.

In the case of access network optimization, as a rule, the values of basic variables are discrete, some of which do not even have numerical value, for example modulation types: QPSK, 4QAM, 16QAM, 64QAM etc. Therefore, the implementation of continuous optimization cannot be directly applied to such situations.

In a general case, the function *cost* can be expressed as follows [4]:

where:

C – cost of network implementation;
A – variable of the access network limit;
B – size of the grid element (surface area, in km²);
L – size (surface area, in km²) of delimitation zone;
T – variables used in access network technology;
M – type of transmission channel;
R – rate of data transmission, kbps;
H – discipline for data package service;
V – method of access;
W – type of modulator;

W – tipul modulator;

G – tipul codecului voce standard.

În expresia (1) seturile de variabile sunt definite prin produsele carteziane:

$$A = B \times L, T = M \times R \times H \times V \times W \times G,$$

iar restricțiile, ce exprimă indicatorul de calitate i , au forma:

$$Q_{imin} \leq Q_i \leq Q_{imax}, i=1, 2, \dots, r. \quad (2)$$

Modelul (1)-(2) poate fi considerat ca un model abstract de descriere a situațiilor-problemă, în care accentul se pune pe minimizarea funcției cost, fără a specifica, concret, dependența acestei funcții de setul de variabile (A, T) . De asemenea, în model, nu se indică nici relațiile prin care ar trebui să se illustreze constrângerile impuse. Dar e clar că, indiferent de situație, e necesară determinarea perechii (A^*, T^*) , pentru care funcția $C = f(A, T)$ ia valoarea minimă: $C_{min} = f(A^*, T^*)$. Pentru a rezolva o asemenea problemă, în fiecare caz concret, mai întâi de toate, trebuie cuantificată expresia analitică a funcției $f(A, T)$, indicată modalitatea de evaluare a acestora, dar și scoase în evidență acele restricții, care urmează să fie respectate.

Totodată, e important de menționat că (1)-(2) reprezintă un model formal raportat la ambele tipuri de rețea. Totuși, considerăm oportună examinarea mai concretă a specificului a două tipuri de rețea: cu fir și fără fir, dat fiind faptul că asigurarea tehnică a acestora e foarte diferită de la caz la caz.

Astfel, în continuare, se vor examina două modele de evaluare a costurilor rețelelor de comunicații: cu fir și fără fir.

3. Rezultatele cercetării

3.1. Modelul matematic pentru rețele cu fir

Considerând că rețeaua include n zone, cheltuielile pentru localitatea (zona) i , se calculează pornind de la următoarele componente [5]:

A. Costurile de echipament/centrala depind de capacitatea de deservire necesară calculată și de fiabilitatea care este necesar să fie asigurată.

G – type of standard voice codec.

In the expression (1) the sets of variables are defined by Cartesian products:

while the restrictions, which express the quality indicator i , have the following form:

The model (1)-(2) can be considered as an abstract model to describe problematic situations, in which the emphasis lies on minimizing the cost function without exactly specifying the dependence of this function on the set of variables (A, T) . Neither does the model indicate the relationships through which the imposed constraints should be illustrated. But it is clear, that regardless of the situation, it is necessary to determine the pair (A^*, T^*) , for which the function $C = f(A, T)$ takes the minimal value: $C_{min} = f(A^*, T^*)$. To solve such a problem, in each concrete case, first of all the analytical expression of the function $f(A, T)$ must be quantified, and the method of its evaluation must be indicated, as well as the restrictions necessary to be observed must be emphasized.

At the same time, it is important to mention that (1)-(2) represents a formal model reported to both types of network. However, we consider it appropriate to look more deeply into the specifics of the two types of network: wire line and wireless, given that their technical features are very different on a case-by-case basis.

Further, two models for assessing the costs of wireless and wire line communications networks will be examined.

3. Research results

3.1. Mathematical model for wireline networks

Considering that the network includes n zones, the costs for locality (zone) i , is calculated proceeding from the following components [5]:

A. Equipment/exchange costs. Depends on calculated necessary servicing capacity and on viability necessary to be ensured.

Se notează cu:

$$Cf_i(S_j^p), \quad (3)$$

unde,

$j = 1, 2, \dots$ reprezintă indicatorul de capacitate a stației amplasate în localitatea i ; iar, p – indicatorul de fiabilitate (sau probabilitatea funcționării fără refuz a stației).

B. Costurile rețelei de transmisiuni pentru centrală se încadrează în intervalul [10000; 600000] MDL. Se notează cu:

It is noted as follows:

where,

$j=1, 2, \dots$ represents the capacity indicator for the exchange, situated in locality i ; while p – represents viability indicator (or probability of flawless operation of the exchange).

B. The costs of transmission network for the exchange fit into the interval [10000; 600000] MDL. It is noted as follows:

$$Cf_i(d_i^c; Th_l), \quad (4)$$

unde:

d_i^c reprezintă lungimea traiectului liniar (traseului) în localitatea i de la stație până la punctul de conectare în rețeaua backbone;

iar Th_l – tipul tehnologiei utilizate pentru asigurarea transportului spre stația de bază; $l = 1$ – traiect liniar prin fibra optică; $l = 2$ – traiect liniar prin sistemul Microwave (radioreleu).

C. Costurile pentru asigurarea stației de bază cu sursă de energie electrică (LEA) se încadrează în intervalul [70000; 600000] MDL. Se notează cu:

where:

d_i^c – represents the tract distance (line) in locality i from the exchange to the connection point in backbone network;

while, Th_l – represents the type of technology used for ensuring transportation to the main exchange;

$l = 1$ – linear tract via optical fiber; $l = 2$ – linear tract via the Microwave system (radio relay).

C. Costs for electricity supply (LEA) to the main exchange fits into the interval [70000; 600000] MDL. It is noted as follows:

$$Cf_i(d_i^r), \quad (5)$$

unde,

d_i^r reprezintă lungimea LEA până la punctul de racordare pentru electro-alimentarea stației în zona i ;

$r = 1$ – conectare prin disjunctoare la sursa trifazată în punctul de racordare; $r = 2$ – conectare prin transformator de coborâre a tensiunii în punctul de racordare.

D. Costurile de construcție a încăperii/ spațiului tehnologic depind de tipul și de complexitatea lucrărilor. Diapazonul calculat se încadrează în intervalul [30000; 1200000] MDL. Se notează cu:

where,

d_i^r – represents the length of LEA up to the point of connection of electricity supply to the exchange in zone i ;

$r = 1$ – connection via circuit breaker to the three-phase source at the connection point; $r = 2$ – connection via low voltage transformer to the connection point.

D. Costs for room/technological space construction. Depend on the type and work complexity. The calculated range fits into the interval [30000; 1200000] MDL. It is noted as follows:

$$Cf_i(T_c, Cl), \quad (6)$$

unde:

T_c indică tipul construcției utilizate, caracterizată prin materialele utilizate, iar Cl determină indicatorul de complexitate al lucrărilor.

E. Costurile de achiziție a terenului sau locației spațiului tehnologic pentru instalarea stației de bază în zona i se încadrează în intervalul [1000; 30000] MDL. Se notează cu:

$$Cf_i(t_i), \quad (7)$$

unde

t_i reprezintă terenul preconizat pentru implementarea stației;

$t_i = 1$ – metoda de achiziție;

$t_i = 2$ – metoda de locațiune a spațiului.

F. Costurile de organizare a ultimei mile (distribuția către abonat) depind de distanța și de tehnologia selectată. Se notează cu:

$$Cf_i(d_{ij}, Ts), \quad (8)$$

unde

d_{ij} denotă distanța de la stația i până la abonatul $j=1,2,\dots$,

m_i – numărul abonaților din localitatea i ,

iar Ts – tehnologia selectată.

Astfel, costul total de implementare a unei centrale în zona i , notat cu Cf_i , este:

$$Cf_i = Cf_i(S_j^p) + Cf_i(d_i^c; Th_l) + Cf_i(d_i^r) + Cf_i(T_c, Cl) + Cf_i(t_i) + Cf_i(d_{ij}, Ts) \quad (9)$$

Numărul zonelor, în acest caz, este a priori cunoscut, fiind egal cu n – numărul localităților din aria de acoperire.

Prin urmare, dacă suprafața de acoperire constă din n zone, costul total al rețelei (notat Cf_R) se exprimă astfel:

$$Cf_R = \sum_{i=1}^n Cf_i . \quad (10)$$

3.2. Modelul matematic pentru rețele fără fir

În cazul comunicațiilor fără fir, cheltuielile se calculează pornind de la următoarele componente:

where,

T_c – represents the type of construction, characterized by the materials used, while Cl determines the work complexity indicator.

E. Costs for land acquisition or technological space rent for the installation of the main exchange in zone i fits into the interval [1000; 30000] MDL. It is noted as follows:

where

t_i – represents the land intended for the exchange rollout;

$t_i = 1$ – acquisition method;

$t_i = 2$ – space rent method.

F. Costs of organizing the last mile (distribution to the subscriber). Depends on distance and technology selected. It is noted as follows:

where

d_{ij} represents the distance from the station i to the subscriber $j=1,2,\dots$,

m_i – number of subscribers in locality i ,

while Ts – selected technology.

Thus, the total cost of an exchange implementation in zone i , noted by Cf_i , is:

The number of zones, in this case, is known in advance, being equal to n – number of localities from the coverage area.

Consequently, if the coverage surface consists of n zone, the total network cost (noted Cf_R) is expressed as follows:

3.2. Mathematical model for wireless networks

In the case of wireless communications, the costs are calculated considering the following components:

A. Costurile de echipament BTS în zona i se încadrează în intervalul [350000; 540000] MDL și se notează cu

$$C_i(S_j^q), \quad (11)$$

unde,

j reprezintă tipul stației de bază (costuri hardware):

$j = 1$ – BTS₁ cu un sector (un bloc radio și o antenă directivă),

$j = 2$ – BTS₂ cu două sectoare (două blocuri radio și două antene directive),

$j = 3$ – BTS₃ cu trei sectoare (trei blocuri radio și trei antene directive),

iar q – indicatorul de capacitate al sectorului BTS:

$q = 1$ – sector dotat cu resurse software (16QAM, AMR, ș.a.),

$q = 2$ – sector dotat cu resurse software (64QAM, AMR-WB, ș.a.).

B. Costurile rețelei de transmisiuni pentru BTS se încadrează în intervalul [10000, 600000] MDL și se notează cu

$$(d_i^c; Th_l) \quad (12)$$

unde,

d_i^c reprezintă distanța tractului în zona i de la BTS până la punctul de conectare în rețeaua backbone,

iar, Th_l – reprezintă tipul tehnologiei utilizate pentru asigurarea transportului spre stația de bază:

$l = 1$ – traiect liniar prin fibră optică,

$l = 2$ – tract liniar prin sistem Microwave (radioreleu),

$l = 3$ – traiect liniar prin sistem point-to-point WiFi.

C. Costurile pentru asigurarea stației de bază cu sursă de energie electrică (LEA) se încadrează în intervalul [70000; 600000] MDL și se notează cu

$$C_i(d_i^r), \quad (13)$$

A. Costs of BTS equipment in zone i fit into the interval [350000; 540000] MDL and it is noted as follows:

where,

j represents the type of the main station (costs of hardware):

$j = 1$ – BTS₁ with one sector (a radio block and a directive antenna),

$j = 2$ – BTS₂ with two sectors (two radio blocks and two directive antennas),

$j = 3$ – BTS₃ with three sectors (three radio blocks and three directive antennas),

while, q represents BTS sector capacity indicator:

$q = 1$ – sector equipped with software resources (16QAM, AMR, etc.),

$q = 2$ – sector equipped with software resources (64QAM, AMR-WB, etc.).

B. The costs of transmission network for BTS fit into the interval [10000, 600000] MDL and it is noted as follows:

where,

d_i^c – represents the tract distance in zone i from BTS to the connection point in backbone network,

while, Th_l – represents the type of technology used for ensuring transportation to the main station:

$l = 1$ – linear tract via optical fiber,

$l = 2$ – linear tract via Microwave system (radio relay),

$l = 3$ – linear tract via point-to-point Wi-Fi system.

C. The costs for electricity supply (LEA) to the main station fit into the interval [70000; 600000] MDL and it is noted as follows:

unde,

d_i^r exprimă lungimea LEA până la punctul de racordare pentru electro-alimentarea BTS în zona i :

$r = 1$ – conectare prin disjunctoare la sursa trifazată în punctul de racordare,

$r = 2$ – conectare prin transformator de coborâre a tensiunii în punctul de racordare.

D. Costurile construcțiilor civile (metalo construcțiilor) pentru instalarea echipamentului BTS în zona i se încadrează în intervalul [30000; 1200000] MDL și se notează cu

$$C_i(T_c) \quad (14)$$

unde,

T_c reprezintă tipul construcției caracterizate prin materiale utilizate, constructiv și înălțimea totală asigurată pentru instalarea stației de bază.

E. Costurile de achiziție teren sau locațiune a spațiului tehnologic pentru instalarea stației de bază în zona i se încadrează în intervalul [1000; 30000, MDL]. Acestea se notează cu:

$$C_i(t_i), \quad (15)$$

unde,

t_i indică terenul preconizat pentru implementarea stației de bază:

$t_i = 1$ – metoda de achiziție,

$t_i = 2$ – metoda de locație a spațiului.

F. Costurile fixe pentru autorizarea emisieii stației de bază și avizele necesare (a) pentru a pune în funcțiune stația BTS în zona i și se notează cu:

$$C_i(a) \quad (16)$$

Astfel, costul total de implementare a unei stații de bază în zona i se exprimă prin

$$C_i = C_i(S_j^q) + C_i(d_i^r; Th_i) + C_i(d_i^r) + C_i(T_c) + C_i(t_i) + C_i(a). \quad (17)$$

Numărul zonelor se va exprima prin

$$n = n(d). \quad (18)$$

Mărimea d reprezintă lungimea razei BTS (hexagonului) în zona i .

Formula de calcul (în cazul rețelei hexagonale) a caracteristicii d este următoarea [4]:

where,

d_i^r – represents the length of LEA to the connection point for electricity supply of BTS in zone i :

$r = 1$ – connection via circuit breaker to the three-phase source at the connection point,

$r = 2$ – connection via low voltage transformer to the connection point.

C. The costs of civil constructions (metal constructions) for the installation of BTS equipment in the zone i fits into the interval [30000; 1200000] MDL and it is noted as follows:

where,

T_c – represents the type of construction characterized by the materials used, constructive and total height ensured for the installation of the main station.

E. The costs for land acquisition or rent of technological space for the installation of the main exchange in the zone i fits into the interval [1000; 30000] MDL. These are noted as follows:

where,

t_i – represents the land planned for the implementation of the main exchange:

$t_i = 1$ – method of acquisition,

$t_i = 2$ – method of space rent.

F. The fixed costs for the authorization of the main exchange emission and necessary permits (a) to start the operation of the BTS in zone i and it is noted as follows:

Thus, the total cost of a main exchange implementation in the zone i is expressed by

The number of zones will be expressed by

The value d represents the length of the BTS radius length (hexagon) in the zone i .

The calculation formula (in case of a hexagonal network) of value d is the following [4]:

$$d = \sqrt{L \cdot \frac{2}{3 \cdot \sqrt{3}}}$$

Prin urmare, dacă suprafața de acoperire constă din n zone, costul total al rețelei (notat cu C_R) se exprimă astfel:

Therefore, if the coverage area consists of n areas, the total cost of the network (noted as C_R) is expressed as follows:

$$C_R = \sum_{i=1}^{n(d)} C_i, \tag{19}$$

unde valoarea C_i se calculează conform relației (17).

where the value C_i is calculated according to relation (17).

4. Studiu de caz raportat la modelul rețelelor de telecomunicații fără fir

4. Case study on the wireless telecommunications network model

În continuare, vom propune o ilustrare practică a procedurii de optimizare a rețelei de acces fără fir.

Below we propose a practical illustration of the wireless access network optimization procedure.

Se expune modul de determinare a soluțiilor optime ale rețelei, care va genera costuri minime și nu va încălca restricțiile de calitate (vectorul P). Tipul stațiilor de bază se consideră a fi cu trei sectoare (trei blocuri radio și trei antene directive).

It outlines how to identify the optimal network solutions that will generate minimal costs and will not violate the quality restrictions (vector P). The type of the main exchange is considered to be the three-sector one (three radio blocks and three directive antennas).

Pentru aceasta, au fost selectate un șir de localități, care prezintă o zonă compactă, propuse spre acoperire (tabelul 1).

For this, we have selected a number of localities with a compact area proposed for coverage (table 1).

Tabelul 1 / Table 1

Localitățile Republicii Moldova propuse spre acoperire / Localities of the Republic of Moldova proposed for coverage

Raion / District	Localitatea / Locality	Populația / Population 2018
Drochia	Hăsnășeni Noi	1178
Drochia	Pelinia	7602
Glodeni	Iabloana	2487
Glodeni	Sturzovca	4411
Mun. Bălți	Sadovoe	1367
Râșcani	Aluniș	1788
Râșcani	Ciobanovca	27
Râșcani	Recea	2501
Râșcani	Singureni	1729
Râșcani	Slobozia-Recea	104
Râșcani	Sverdiac	475
Râșcani	Ușurei	374

Sursa: elaborat de autori / Source: developed by the author

Datele care reprezintă parametrii inițiali pentru studiu sunt prezentate în tabelul 2. Conform metodologiei descrise în [4], se determină variantele optime ale rețelelor de cost minimal, respectând, totodată, restricțiile de calitate (până când toate componentele vectorului P sunt 0). Îndată ce cel puțin o componentă a vectorului P devine 1, aceasta denotă încălcarea a cel puțin unei restricții de calitate. Tabelele 3 și 4 prezintă datele de referință pentru determinarea soluțiilor optime în două cazuri:

The data representing the initial parameters for the study are presented in the table 2. According to the methodology described in [4], the optimal variants of networks of a minimal cost are determined, while observing the quality restrictions (as long as all the components of the vector Pare 0). As soon as at least one P component becomes 1, this denotes the violation of at least one quality restriction. Tables 3 and 4 provide reference data for optimal solutions in two cases:

- a) $Q_{2min} = -15 \text{ dB}$, $Q_{1max} = 200 \text{ ms}$,
- b) $Q_{2max} = -8 \text{ dB}$, $Q_{1min} = 40 \text{ ms}$.

Tabelul 2 / Table 2

Date inițiale / Initial data

Parametrii/variabile/ Parameters/variables	Valoarea / Value
Suprafața / Surface	260 km ²
Numărul de localități / Number of localities	12
Numărul de locuitori / Number of inhabitants	24043
Frecvența radio a stației de bază / Radio frequency of main station	2100 MHz
$d_1, d_2, \dots, d_8; \Delta d$	0.4 km, 0.9 km, ... 3.9 km; 0.5 km
R_1, \dots, R_{16}	64 kbps ... 21 Mbps
H, V	HSDPA, WCDMA
W, disponibilitatea canalului / W, availability of channel	a) 16QAM, 99.999% b) 64QAM, 99.999%
G	a) AMR b) AMR-WB
Q1 – întârzierea pachetelor de date/ Q1 – data packet delay Q2 – raportul semnal-zgomot / Q2 – signal-to-noise ratio	$Q_{1min} = 40 \text{ ms}$, $Q_{1max} = 200 \text{ ms}$ $Q_{2min} = -15 \text{ dB}$, $Q_{2max} = -8 \text{ dB}$

Sursa: ajustată de autori [4] / **Source:** adjusted by the authors [4]

Rezultatele evaluării costurilor pentru $Q_1 = 40 \text{ ms}$, $Q_2 = -8 \text{ dB}$, $W = 64 \text{ QAM}$, $G = \text{AMR-WB}$ (Varianta I) sunt $R = 2.4 \text{ km}$, $L(L5) = 14,96 \text{ km}^2$, $C_{min} = 32,5 \text{ mln MDL}$ și sunt prezentate în formă grafică în figura 2.

Results of costs evaluation for $Q_1 = 40 \text{ ms}$, $Q_2 = -8 \text{ dB}$, $W = 64 \text{ QAM}$, $G = \text{AMR-WB}$ (Variant I) are $R = 2.4 \text{ km}$, $L(L5) = 14,96 \text{ km}^2$, $C_{min} = 32,5 \text{ million MDL}$ and are graphically represented in figure 2.

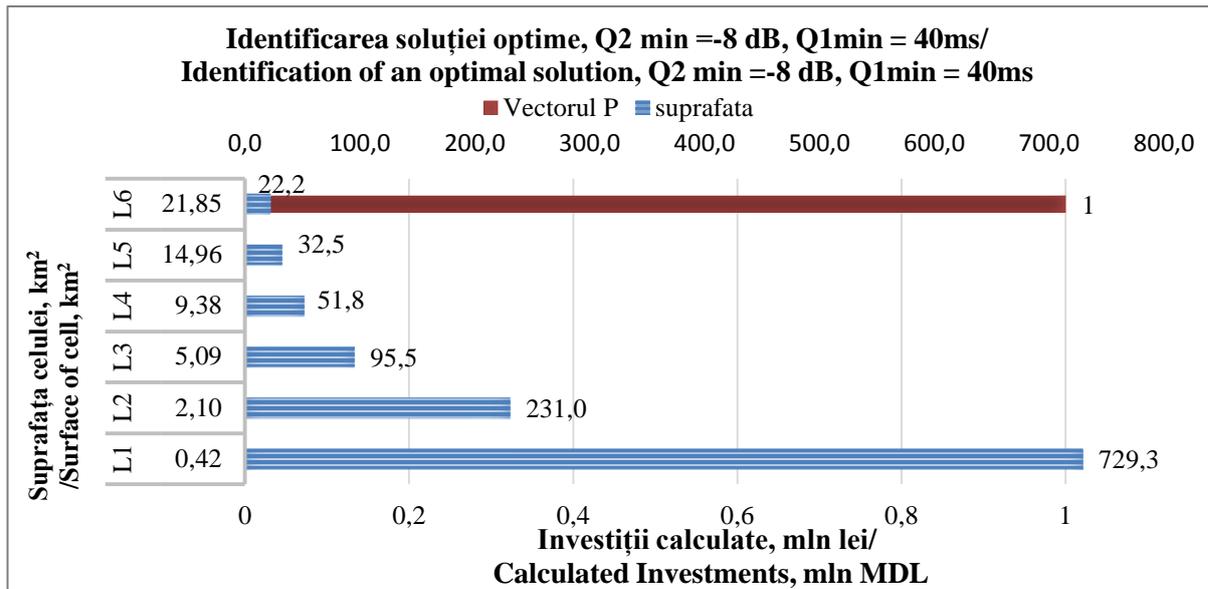


Figura 2. Identificarea soluției optime (varianta I) /
Figure 2. Identification of an optimal solution (variant I)
Sursa: elaborată de autori / Source: developed by the authors

În condițiile în care rețeaua, ce urmează a fi proiectată, se bazează pe utilajul cu caracteristicile $W=64QAM$, $G=AMR-WB$, costul minimal al acesteia ar fi $C_{min} = 32,5$ mln MDL (figura 2). Raza de acțiune a unei stații, localizate în centrul hexagonului, este $d=2,4$ km, aria de acoperire a hexagonului fiind $L=L5$ de circa $14,96$ km². Parametrii de calitate se pronunță cu valorile $Q_1=40$ ms, $Q_2=-8$ dB. Dacă s-ar încerca să se majoreze raza hexagonului cu $\Delta d=0.5$ km, adică să se treacă de la $d=2,4$ km la $d=2,9$ km (căreia îi corespunde $L=21,85$ km²), s-ar obține valori inadmisibile ale indicatorilor de calitate.

În cazul când $Q_1 < Q_{1min} = 40$ ms, sau $Q_2 > Q_{2max} = -8$ dB, ceea ce ar semnifica că o asemenea soluție nu poate fi acceptată (în figura 2, această situație este marcată cu linia din extrema de sus, numită și linia 1).

Prin urmare, algoritmul începe cu raza de acțiune $d=0,4$ km, crescând treptat această rază cu mărimea $\Delta d=0.5$ km și până la momentul în care raza $d=2,4$ km. Astfel, pentru a asigura acoperirea zonei geografice indicate, sunt necesare 17 hexagoane (aceasta fiind ilustrată în figura 4), adică 17 stații de tip $W=64QAM$, $G=AMR-WB$.

Where the network to be designed is based on the equipment with the features $W=64QAM$, $G=AMR-WB$, its minimum cost would be $C_{min} = 32,5$ million MDL (figure 2). The radius of a station, located in the center of the hexagon, is $d=2,4$ km, the coverage area of the hexagon being $L=L5$ of about $14,96$ km². The quality parameters are expressed with the values $Q_1=40$ ms, $Q_2=-8$ dB. If the radius of the hexagon is increased by $\Delta d=0.5$ km, i.e. from $d=2,4$ km to $d=2,9$ km (that corresponds to $L=21,85$ km²), inadmissible values of the quality indicators would be obtained.

Where $Q_1 < Q_{1min} = 40$ ms, or $Q_2 > Q_{2max} = -8$ dB, which would mean that such a solution cannot be accepted (in the figure 2 this situation is marked with the uppermost line, also called line 1).

Therefore, the algorithm starts with the radius $d=0,4$ km, gradually increasing this radius by $\Delta d=0.5$ km until the moment when the radius $d=2,4$ km. So, in order to ensure the coverage of the indicated geographical zone, 17 hexagons are necessary (this is represented in the figure 4), that is 17 stations of the type $W=64QAM$, $G=AMR-WB$.

În tabelul 3, sunt reflectate cantitatea necesară de site-uri și configurația acestora pentru asigurarea indicatorilor de calitate nominalizați.

Table 3 reflects the necessary quantity of sites and their configuration to ensure the mentioned quality indicators.

Tabelul 3/ Table 3

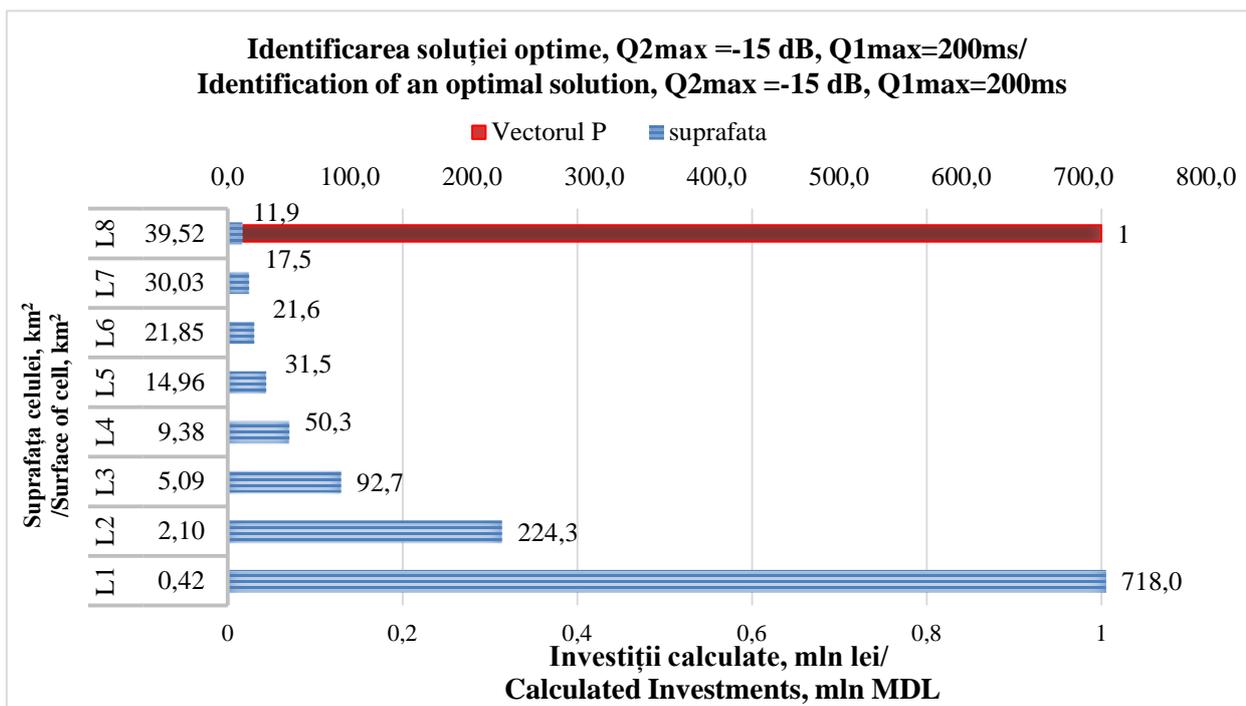
**Numărul necesar de site-uri în aria de acoperire (varianta I)/
Necessary number of sites (variant I)**

Date de referință / Reference data	Valoarea / Value
Cantitatea calculată de site-uri / Calculated number of sites	17
Costuri de investiție, total mln MDL / Investment costs, total million MDL	32,5

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

Rezultatele evaluării costurilor pentru $Q_1=200$ ms, $Q_2=-15$ dB, $W=16QAM$, $G=AMR$ (varianta II) sunt $R=3.4$ km, $L(L7)=30,03$ km², $C_{min}=17,5$ mln MDL și sunt prezentate în formă grafică în figura 3.

The results of cost evaluation for $Q_1=200$ ms, $Q_2=-15$ dB, $W=16QAM$, $G=AMR$ (variant II) are $R=3.4$ km, $L(L7)=30,03$ km², $C_{min}=17,5$ million MDL and are graphically presented in the figure 3.



**Figura 3. Identificarea soluției optime (varianta II) /
Figure 3. Identification of an optimal solution (variant II)**
Sursa: elaborată de autori / Source: developed by the authors

În figura 3, se ilustrează procesul de desfășurare a algoritmului în supoziția că rețeaua proiectată va include stații cu caracteristicile $W=16QAM$, $G=AMR$. În mod similar, inițial, se consideră raza de acțiune $d=0,4$ km, se trece

Figure 3 illustrates the process of algorithm rollout in the assumption that the designed network will include exchanges with the features $W=16QAM$, $G=AMR$. Similarly, at first the radius $d=0,4$ km is considered, then there is gradual

treptat la următoarea rază cu creșterea $\Delta d=0.5$ km, până la momentul în care raza devine egală cu $d=3,4$ km (adică, în acest caz, se realizează efectiv 7 iterații) și aria suprafeței de acoperire a hexagonului $L=30,03 \text{ km}^2$.

Valorile indicatorilor de calitate sunt la limitele $Q_1=200 \text{ ms}$, $Q_2=-15 \text{ dB}$, dar admisibile. Creșterea, în continuare, a razei d a hexagonului cu $\Delta d=0.5$ km conduce la nerespectarea restricțiilor cu privire la indicatorii de calitate: sau $Q_1>200 \text{ ms}$, sau $Q_2<-15 \text{ dB}$ (în figura 3, această situație fiind ilustrată prin linia 1 din extrema de sus). Așadar, în cazul respectiv, 10 stații cu caracteristicile indicate vor asigura pe deplin rețeaua proiectată, costul acesteia, care este și costul minimal, fiind estimat la 17,5 mln MDL (acoperirea respectivă fiind reprezentată în figura 5).

În tabelul 4, sunt reflectate cantitatea necesară de site-uri și configurația acestora pentru asigurarea indicatorilor de calitate Q_1 și Q_2 .

transition to the following radius with increased value $\Delta d=0.5$ km, up to the moment when the radius becomes equal to $d=3,4$ km (i.e. in this case effectively 7 iterations are performed) and the area of the hexagon coverage surface $L=30,03 \text{ km}^2$.

The values of quality indicators are within the limits $Q_1=200 \text{ ms}$, $Q_2=-15 \text{ dB}$, however, admissible. The further increase of the radius d of the hexagon by $\Delta d=0.5$ km leads to non-observance of quality indicators restrictions: either $Q_1>200 \text{ ms}$, or $Q_2<-15 \text{ dB}$ (in the figure 3 this situation is illustrated by line 1 of the uppermost top). Therefore, in this case, 10 stations with the indicated features will fully ensure the designed network, its cost, which is also the minimum cost, being estimated at 17.5 million MDL (the corresponding coverage being represented by the fig. 5).

The table 4 reflects the required quantity of sites and their configuration to ensure quality indicators Q_1 and Q_2 .

Tabelul 4 / Table 4

Numărul necesar de site-uri în aria de acoperire (varianta II) / Necessary number of sites (variant II)

Date de referință / Reference data	Valoarea / Value
Cantitatea calculată de site-uri / Calculated number of sites	10
Costuri de investiție, total mln MDL / Investment costs, total million MDL	17,5

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

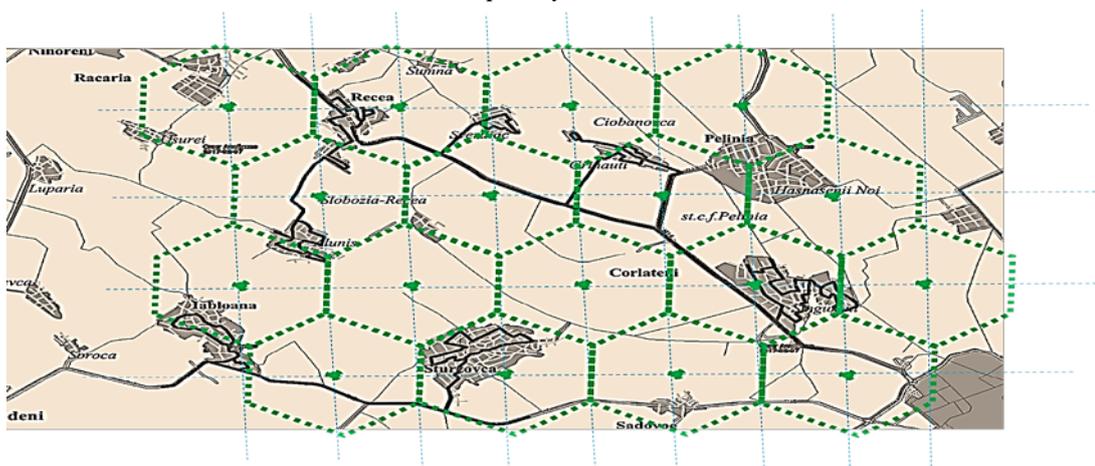


Figura 4. Acoperirea teritorială pentru Q_1 și Q_2 și a restricțiilor intacte: 64QAM modulația, codec de tip AMR – WB, $N_s=17$, rază de acoperire maximă 2,4 km, disponibilitatea 99,999% /

Figure 4. Territorial coverage for Q_1 and Q_2 and intact restrictions: 64QAM modulation, AMR – WB, $N_s=17$, maximum coverage radius 2,4 km, availability 99,999%

Sursa: ajustată de autori [4] / Source: adjusted by the authors [4]

64QAM pentru acoperirea la nivel teoretic, cât și pentru asigurarea valorilor de calitate *a priori* indicate, este necesar un număr de 1.7 ori mai mare de stații de bază decât în cazul modulării 16QAM. Iar în cazul modulării 16QAM (tabelul 4) și cu condiția păstrării indicatorilor de calitate în limitele admisibile, costurile de investiție se vor reduce cu ~ 46,2%.

Metoda poate fi adaptată pentru soluționarea și a altor probleme similare de optimizare cu variabile discrete, ajustate la gradul de influență, specifice acestora, asupra funcțiilor-obiectiv și asupra restricțiilor de domeniu IT.

În general, pentru soluționarea problemelor întru dezvoltarea întregii infrastructuri de telecomunicații în țară, rezultatele obținute în articolul dat pot fi folosite în felul următor. În baza unor cercetări suplimentare, e necesară împărțirea întregului teritoriu al țării în zone cu diferite cerințe față de criteriile de calitate ale serviciilor de comunicații. După aceea, în funcție de aceste criterii, pentru fiecare zonă conexă, să se concretizeze modelele de evaluare a costurilor descrise mai sus. Astfel, metodologia examinată ar permite soluționarea problemelor de optimizare a costurilor, respectând cerințele în raport cu criteriile de calitate.

theoretical coverage and for ensuring quality values in advance, it is necessary to have a number of main stations higher by 1.7 than in the case of 16 QAM modulation. In the case of 16QAM modulation (table 4), provided that the quality indicators are maintained within acceptable limits, the investment costs will be reduced by ~ 46,2%.

The method can be adapted to solve other similar optimization problems with discrete variables, adjusted to their specific degree of influence on objective functions and IT domain restrictions.

Generally, in order to solve the problems for the development of the entire telecommunication infrastructure in the country, the results obtained in the given article can be used in the following way. Based on additional research, it is necessary to divide the entire territory of the country into areas with different requirements to the quality criteria of the communications services. Subsequently, depending on these criteria, the cost assessment models described above are specified for each associated area. Thus, the examined methodology would allow cost-optimization problems to be addressed, while observing the requirements related to quality criteria.

Bibliografie/Bibliography:

1. CONDREA, Serghei. *Rețele și sisteme de telecomunicații: O introducere în teoria modernă a circuitelor*. București: Editura Tehnică, 1972, 438 p.
2. RĂDULESCU, Tatiana. *Rețele de telecomunicații*. București: Editura Thalia, 2005, 502 p.
3. СМОЛОВИК, Сергей. *Методы планирования и оптимизации параметров радио подсистемы сети UMTS* – Москва. 2005, 205 с.
4. 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.
5. VARANIȚA, Gr.; GODONOAGĂ, A.; COSTAȘ, Il. Model de evaluare a costurilor rețelilor de telecomunicații prin fir. *Materiale/teze ale Conferinței științifice internaționale „Competitivitatea și Inovarea în Economia Cunoașterii”* (28-29 septembrie, 2018), ASEM, Chișinău.