

## MODELE ȘI METODE DE STUDIERE A SISTEMELOR POLLING

**Lilia MITEV**

*Universitatea Academiei de Științe a Moldovei,  
Institutul de Matematică și Informatică al AȘM*

Sistemele polling au o largă aplicare în diverse domenii, cum ar fi sistemele informatice, de transport, telecomunicații, procesele industriale etc. [1,28]. În articol este prezentat un studiu al lucrărilor științifice care se referă la analiza sistemelor polling. Sunt prezentate diverse modele și metode de studiere a sistemelor polling și a evoluției lor.

**Cuvinte-cheie:** *sistem polling, șir de așteptare, disciplină de servire, ordine de servire, metoda mediilor, metoda „catastrofelor”, metoda funcțiilor generatoare, metoda proceselor ramificate.*

### MODELS AND METHODS IN THE STUDY OF POLLING SYSTEMS

Polling systems find a wide application in different fields, such as computer systems, transportation, telecommunications, industrial processes, etc. [1,28]. In the article, a survey on scientific papers which refers to the analysis of polling systems is presented. Different models and methods in the study of polling system and their evolution are presented.

**Keywords:** *pollingsystem, queue, service discipline, service order, averages method, method of "catastrophes", generating functions method, branched processes method.*

### 1. Introducere

Sistemele polling sau sistemele cu sondaj ciclic reprezintă o varietate de sisteme de așteptare cu multiple șiruri de așteptare. În fiecare șir de așteptare sosește fluxul său de cerințe. Dispozitivul de servire (serverul) vizitează șirurile de așteptare, după o anumită regulă, și servește cerințele aflate în sistem. Un caz particular al sistemelor polling sunt sistemele de așteptare cu priorități, în care cerințele cu prioritate mai mare trebuie să fie servite mai înainte decât cerințele cu prioritate mai mică. În general, în cazul sistemelor polling serverul stabilește prioritatea cerințelor potrivit unor reguli (conform tabelului polling).

Regula, după care serverul selectează șirul de așteptare pentru servire, se numește ordinea de servire. Exemple de astfel de reguli ar putea servi șiruri de așteptare cu *sondaj ciclic*, atunci când serverul vizitează șirurile de așteptare de la primul la ultimul și se întoarce din nou la primul șir de așteptare, sau *ordine aleatoare*, în care șirul de așteptare pentru servire este selectat aleatoriu.

Șirurile de așteptare ale sistemului polling sunt servite conform unei discipline de servire dată. Aceasta se caracterizează prin numărul de cerințe care pot fi servite de către server într-o singură vizită a șirului de așteptare. Printre cele mai frecvent întâlnite discipline de servire [28] a șirurilor de așteptare (vom considera șirul  $Q_i$ ) vom menționa:

- a) *disciplina exhaustivă*, în care serverul servește cerințele până când șirul de așteptare devine liber;
- b) *disciplina închisă (ecluză, dependentă, de acces)*, în care serverul servește numai acele cerințe care se aflau în șirul de așteptare  $Q_i$  la momentul sondajului (momentul conexiunii serverului la acest șir). Cerințele, care au sosit în șirul de așteptare după momentul sondajului, vor fi servite în ciclul următor. În cazul în care serverul servește doar acele cerințe, care se aflau în șirul de așteptare în momentul începerii ciclului (momentul sondajului primului șir), această disciplină se numește *disciplină global-inchisă*;
- c) *disciplina  $l_i$ -limitată*, în care numărul de cerințe care pot fi servite de către server este limitat de numărul  $l_i$ ,  $l_i \geq 1$ ;
- d) *disciplina  $l_i$ -decrementată*, în care serverul servește cerințele aflate în șirul de așteptare până când lungimea șirului nu va deveni cu  $l_i$  mai mică decât în momentul conectării serverului, sau până când șirul nu va deveni liber,  $l_i \geq 1$ ;
- e) *disciplina  $T$ -limitată*, în care timpul aflării serverului în șirul de așteptare este limitat;
- f) *disciplina cu prag*, în care serverul servește șirul de așteptare, dacă numărul de cerințe din el nu este mai mic decât o valoare stabilită (prag);

g) *disciplina aleatoare*, în care numărul de cerințe, care pot fi servite de server, este definit de valoarea variabilei aleatoare discrete  $\xi_i$  cu legea de repartiție  $\{a_j^i, j \geq 1\}$ , care poate varia la fiecare sondaj al șirului de așteptare  $Q_i$ .

## 2. Evoluția istorică în studierea sistemelor polling

Sistematizarea și generalizarea rezultatelor teoretice, obținute în domeniul studierii sistemelor polling până în anul 1985, sunt expuse în monografia lui H.Takagi [17]. În continuare, dezvoltarea rezultatelor teoretice în această direcție, publicate înainte de anul 1995, sunt reflectate în monografia lui S.Borst [4], iar lucrări publicate în perioada anilor 1996-2006 sunt prezentate în [27]. Generalizarea și sistematizarea modelelor și metodelor pentru studierea sistemelor stohastice cu sondaj ciclic (sistemul polling) și utilizarea lor pentru proiectarea rețelelor fără fir de bandă largă este dedicată monografia prezentată în [28]. În această lucrare, de asemenea, sunt analizate modele noi, care descriu funcționarea rețelelor fără fir de bandă largă care rulează sub protocoalele Wi-Fi și Wi-MAX cu un mecanism de control centralizat. Analiza modelelor cu priorități cu schimb nenul de tip semi-Markov al șirurilor de așteptare cu priorități, denumite modele generalizate cu priorități, este expusă în [34]. În această lucrare sunt prezentate discipline noi de prioritate, apărute ca urmare a formalizării pierderii timpului la comutare, sunt dezvoltate noi metode de analiză și elaborați algoritmi numerici de calcul al caracteristicilor sistemelor generalizate. Este arătată conexiunea și continuitatea rezultatelor pentru sistemele clasice și sistemele generalizate.

În lucrările elaborate de G.P. Klimov și G.K. Mișcoi [33], M.I. Volkovinskii și A.N. Kabalevskii [30] este studiat un caz special al sistemelor polling: sisteme de așteptare cu priorități, cu flux de intrare Poisson și timp de orientare de o formă specială. Aceste monografii extind rezultatele obținute în acea perioadă, care sunt prezentate în lucrarea lui B.V. Gnedenko ș.a. [31].

Una dintre încercări, întreprinsă într-o lucrare recentă de S.Alfa [1], este de a prezenta în mod clar cititorului modelele de așteptare cu privire la modul de utilizare a instrumentelor matematice disponibile pentru a-l ajuta în analiza problemelor asociate cu modelele de așteptare. În acest scop, conținutul acestei lucrări este, în general, prezentat într-o formă care face ca aplicațiile să fie foarte ușor de văzut și, de asemenea, pentru ca noile evoluții și rezultate din domeniu să fie mai accesibile pentru utilizatorul pragmatic al modelelor de așteptare.

Este bine cunoscut faptul că șirurile de așteptare cu un singur server dau unele perspective foarte bune chiar și șirurilor de așteptare complexe cu mai multe servere dacă sunt corect aproximate. Deci, șirurile de așteptare cu un singur server sunt foarte importante în domeniul teoriei așteptării și sunt foarte des întâlnite. Considerent din care această lucrare se concentrează pe șirurile de așteptare cu un singur server. Rețelele de așteptare cu timp discret sunt tratate în [8].

Un domeniu important în care teoria așteptării se aplică foarte des este domeniul telecomunicațiilor. Sistemele de telecomunicații sunt analizate astăzi în timp discret [2], deoarece se bazează în general pe tehnologia discretă; timpul este divizat pe intervale și sistemul s-a transferat de la tehnologia analogică (cu timp continuu) la cea discretă. Prin urmare, timpul discret al modelelor de așteptare [11] necesită o atenție specială în domeniul de așteptare și al telecomunicațiilor.

## 3. Metode de cercetare a sistemelor polling

**Metoda mediilor.** Una dintre metode, propusă în literatura de specialitate, pentru analiza sistemelor polling este metoda mediilor. Această metodă este pe larg descrisă în [25] și este destinată pentru calcularea lungimilor medii ale șirurilor de așteptare din sisteme într-un moment de timp arbitrar, pentru care pot fi obținute duratele medii ale vizitării șirurilor, în particular pentru sistemul cu sondaj ciclic  $M/G/1$  și servire exhaustivă sau închisă. Pe baza timpului mediu de vizită a șirului de așteptare și a valorii medii rămase se calculează numărul mediu de cerințe în șirurile de așteptare ale sistemului ca soluție a sistemului de ecuații liniare. Vom menționa că metoda mediilor poate fi extinsă pentru următoarele sisteme polling: sisteme cu flux Poisson grupate, sisteme cu sondaj periodic, sisteme cu timp discret; de asemenea, aplicarea acestei metodei la analiza aproximativă a altor modele polling a se vedea în [19-21].

Metoda mediilor este aplicată, în [20], pentru calcularea aproximativă a timpului mediu de așteptare din sistem cu servire limitată a șirurilor de așteptare. Ideea de bază a aproximărilor constă în a descompune

sistemul inițial cu  $N$ -șiruri de așteptare în  $N$ -sisteme de așteptare cu un singur șir, stări de repaus ale serverului și  $k$ -discipline de servire limitate. Și întrucât, cel mai probabil că după perioada lungă (scurtă) de servire urmează perioada lungă (scurtă) dintre vizitele șirurilor de așteptare, se presupune că lungimea perioadelor dintre vizitele șirurilor corelează cu numărul de cerințe deservite în timpul vizitei precedente a șirului de așteptare. Analiza este dedicată determinării primelor două momente ale perioadei dintre vizitele șirului cu condiția că  $l$ -cerințe au fost servite din acest șir în timpul perioadei precedente de servire; de asemenea, cu ajutorul acestei analize poate fi determinată repartiția perioadei dintre vizitele șirurilor de așteptare.

În [24], metoda mediilor este propusă pentru analiza sistemelor polling cu servire exhaustivă sau închisă pentru diferite discipline de servire a cerințelor din cadrul șirului: în ordinea sosirii cerințelor (ca caz particular, analizat în [25]), în ordinea inversă cu întreruperea servirii sau fără întreruperi, disciplina de servire a primei cerințe cu timpul minim de servire rămas, disciplina descompunerii serverului. În [19] această metodă se aplică pentru analiza aproximativă a sistemelor ce funcționează în condițiile unor încărcări mari.

Metoda mediilor este descrisă în [21], la analiza sistemelor polling cu sondaj dinamic adaptiv. Sondajul adaptiv presupune că serverul omite acele șiruri de așteptare care nu aveau cerințe în momentul sondajului din ciclul precedent. Dacă toate șirurile sistemului trebuie să fie omise, atunci serverul se va afla în stare de repaus, după care va începe sondajul tuturor șirurilor în ordinea lor. Analiza este bazată pe calcularea aproximativă a probabilității că șirul va fi omis în ciclu, urmată de aplicarea metodei mediilor pentru calcularea timpurilor medii de așteptare.

**Metoda „catastrofelor”.** O metodă de cercetare a sistemelor polling, cu o bogată istorie de succes în obținerea unor noi rezultate în teoria așteptării, este metoda „catastrofelor” sau metoda introducerii unui eveniment aleatoriu suplimentar [12, 32]. Esența metodei „catastrofelor” constă în faptul că introducând un eveniment suplimentar („catastrofă”) se reușește a se atribui un sens probabilist clar transformărilor Laplace și Laplace-Stieltjes, după ce se analizează evoluția sistemului de așteptare și se determină aceste probabilități, ceea ce permite să evităm anumite structuri complicate [9].

**Metoda funcțiilor generatoare** (de colorare, marcare) [12, 32] este o metodă eficientă în cercetarea problemelor teoriei așteptării. Ideea principală a acestei metode constă în a se atribui funcției generatoare un anumit sens probabilistic și aceasta se obține prin procedura de colorare (marcare, vopsire) a cerințelor de intrare în sistemul de servire. Astfel, structura matematică abstractă definită ca funcție generatoare, datorită sensului ei probabilistic, devine mai convenabilă în problemele aplicative. Cu ajutorul acestei metode, deseori este posibil de obținut expresii analitice pentru funcția generatoare reieșind din sensul ei probabilist, și aceasta este posibil fără a se cunoaște funcția de repartiție a variabilei aleatoare. Tot așa cum se întâmplă și cu valorile numerice ale variabilei aleatoare, valoarea medie, dispersia etc.

**Metoda proceselor ramificate.** O altă metodă pentru cercetarea sistemelor polling, bazată pe teoria proceselor ramificate, este propusă în [18]. Această metodă se aplică la sistemele ce funcționează în condițiile încărcăturilor mari și permite obținerea expresiilor aproximative pentru transformatele Laplace-Stieltjes de repartiție a lungimilor șirurilor și a timpurilor de așteptare pentru clase largi ale sistemelor polling, al căror comportament poate fi descris de procesele ramificate.

Analiza sistemelor polling utilizând **teoria de descompunere a proceselor semiregenerate** este detaliat descrisă în [13, 35]. Sondajul șirurilor de așteptare care se consideră periodic este făcut conform tăbliței sondajului dat. Este determinată transformata Laplace a funcției generatoare a numărului de cerințe în șirurile de așteptare ale sistemului pentru diferite discipline de servire (exhaustivă, închisă și limitată).

**Condiții de existență a unui regim staționar.** În [14] se ia în considerare sistemul cu sondaj periodic al șirurilor de așteptare cu fluxurile de intrare de tip BMAP (flux Markov grupat al cerințelor). Pentru sistem sunt obținute condițiile necesare și suficiente pentru existența regimului staționar, precum și este indicată ordinea sondajului șirurilor de așteptare, pentru care sistemul nu are regim de lucru staționar.

#### 4. Modele ale sistemelor polling

**Sisteme cu două șiruri de așteptare.** În [3] este descris sistemul cu două șiruri de așteptare, dintre care în unul sosesc două fluxuri de cerințe cu prioritate. Disciplina de servire – exhaustivă, închisă sau global-inchisă (în care sunt deservite doar acele cerințe care erau în șirul de așteptare în momentul începerii ciclului, iar cerințele rămase trebuie să aștepte ciclul următor). Pentru acest model sunt obținute repartiția lungimii ciclului, repartiția numărului de cerințe din șiruri în momentele de sondaj al șirurilor de așteptare, de asemenea

este făcută o analiză cu privire la timpul de așteptare. În [22] se presupune că timpurile de conectare a serverului la șirul de așteptare și timpurile de servire a cerințelor din cadrul șirului sunt corelate și sunt descrise timpurile de ședere ale unui lanț Markov în stările lor. Este considerată, de asemenea, și o a doua variantă, în care timpurile de conectare și de servire sunt definite de repartiția bidimensională Laplace.

**Sisteme cu un singur dispozitiv de servire (server).** În [10] este studiat sistemul polling cu parametri variabili. Se presupune că repartiția timpului de servire a cerințelor din șir și parametrul fluxului de intrare se schimbă de fiecare dată când serverul părăsește șirul de așteptare. În [5] se prezintă o analiză a sistemului polling cu servire grupată (simultan sunt servite toate cerințele aflate în șirul de așteptare, la momentul sondajului) utilizând metoda funcțiilor generatoare și este obținută repartiția timpului de așteptare.

Analiza modelului polling fluid este prezentată în [7]. Sistemul polling este format din  $N$  sisteme de așteptare fluide și un dispozitiv de servire (server). Disciplina de servire poate fi exhaustivă, închisă și global-inchisă. Ordinea de servire a șirurilor de așteptare – ciclică sau aleatoare. Este obținută repartiția Laplace-Stieltjes a nivelului de fluiditate din șirurile sistemului în momentul sondajului de către server al șirurilor de așteptare și în orice moment de timp. În plus, este descrisă procedura de determinare a ordinii probabiliste optime de sondaj al șirurilor de așteptare.

Sistemul polling cu cerințe pozitive și negative este examinat în [16], pentru care cu ajutorul metodei funcțiilor generatoare s-a obținut repartiția numărului de cerințe în șirurile de așteptare și repartiția timpului de așteptare în termenii transformatei Laplace-Stieltjes. În [15] este analizat sistemul polling cu două tipuri de refuzuri: refuzuri în servirea cerinței și refuzuri în servirea șirului de așteptare. În primul caz, refuzul se produce în timpul servirii cerinței și, ca rezultat, aceasta părăsește sistemul, iar serverul trece la servirea următoarei cerințe din șirul de așteptare. În cazul refuzului, serverul imediat întrerupe servirea cerinței, părăsește șirul și trece la următorul șir de așteptare.

În [26] se studiază sistemul cu disciplina exhaustivă cu prag de servire a șirurilor de așteptare. Șirul poate fi servit, dacă lungimea sa depășește un prag stabilit. Dacă lungimea tuturor șirurilor de așteptare este insuficientă pentru a începe servirea, atunci serverul încetează vizita șirurilor și o reîncepe în momentul când careva dintre șiruri va acumula numărul necesar de cerințe. Sistemul cu diferite discipline de servire a cerințelor, cum ar fi cel descris în [24], este considerat în [6], pentru care a fost determinată repartiția lungimii ciclului și a timpului de staționare a cerințelor din orice șir de așteptare al sistemului.

**Sisteme cu multiple dispozitive de servire (servere).** În [29] este analizat modelul polling ce descrie funcționarea sistemelor cu sondaj ciclic (polling) în rețele de viteză înaltă fără fir – MESH. Servirea ciclică a șirurilor de așteptare este realizată de două servere. O parte din șiruri sunt disponibile pentru sondajul ambelor servere; fiecare dintre celelalte șiruri este determinat după serverul „său” în ciclul de servire. Pentru studiul unui astfel de sistem este aplicată metoda mediilor de analiză.

Sistemul polling cu un număr infinit de servere este analizat în [23]. Șirurile sistemului sunt intervievate ciclic de un grup cu un număr infinit de servere. Serverele servesc șirurile de așteptare într-un timp aleator, după a cărui expirare serverele părăsesc șirurile, iar cerințele, servirea cărora a fost întreruptă, se deservesc din nou la următoarea vizită a serverului la șirul de așteptare.

#### Bibliografie:

1. ALFA, A.S. *Queueing Theory for Telecommunications: Discrete Time Modelling of a Single Node System*. Springer, USA, 2010. 238 p. ISBN 978-1-4419-7313-9
2. BEJENARI, D., MITEV, L. Formule aproximative pentru sisteme Polling cu timp discret. În: *Revista științifică „Studii Economice”*, 2012, vol.VI, nr.3-4, p.326-331.
3. BOON, M.A.A., ADAN, I.J.B.F., BOXMA, O.J. A two-queue polling model with two priority levels in the first queue. In: *Discrete Event Dynamic Systems*, 2010, vol.20, no.4, p.511-536.
4. BORST, S.C. *Polling systems*. Amsterdam: Stichting Mathematisch Centrum, 1996.
5. BOXMA, O., van der WAL, J., YECHIALI, U. Polling with batch service. In: *Stochastic Models*, 2008, vol.24, no.4, p.604-625.
6. BOXMA, O.J., BRUIN, J., FRALIX, B.H. Sojourn times in polling systems with various service disciplines. In: *Performance Evaluation*, 2009, vol.66, no.11, p.621-639.
7. CZERNIAK, O., YECHIALI, U. Fluid polling systems. In: *Queueing Systems*, 2009, vol.63, p.401-435.
8. DADUNA, H. *Queueing networks with discrete time scale: Explicit expressions for the steady state behaviour of discrete time stochastic networks*. Springer Lecture Notes in Computer Science, 2001.

9. GROZA, O., MISHKOY, Gh., MITEV, L., COSTEA, A. Method of „catastrophes” and its application to analyze generalized queueing models. In: *Studia Universitatis. Seria „Științe exacte și economice”*, 2012, nr.2 (52), p.5-12.
10. MACPHEE, I., MENSNIKOV, M., PETRITIS, D., POPOV, S. A Markov chain model of a polling system with parameter regeneration. In: *Annals of Applied Probability*, 2007, vol.17, no.5/6, p.1447-1473.
11. MIȘCOI, Gh., BEJENARI, D., MITEV, L. Numerical algorithm regarding symmetric discrete polling system. In: *Proceedings of the 37<sup>th</sup> Annual Congress of the American Romanian Academy of Arts and Sciences (ARA)*, 2013, p.490-492.
12. MIȘCOI, Gh., MITEV, L. Metode analitice și numerice în analiza modelelor Polling. În: *Materialele Conferinței științifico-practice internaționale „Politici economice și financiare pentru o dezvoltare competitivă”*, 2013, p.353-357.
13. RYCOV, V.V., MISHKOY, Gh. The new approach on study Polling systems. In: *Proceedings of the 4-th International Conferences on Control Problems*. Moscow, 2009, p.1749-1758.
14. SAFFER, Z., TELEK, M. Stability of periodic polling system with BMAP arrivals. In: *European Journal of Operational Research*, 2009, vol.197, no.1, p.188-195.
15. SHOMRONY, M., YECHIALI, U. Polling systems with job failures and with station failures. In: *Technical Report, Department of Statistics and Operations Research*, Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israel, 2006.
16. SHOMRONY, M., YECHIALI, U. Polling systems with positive and negative customers. In: *Technical Report, Department of Statistics and Operations Research*, Tel-Aviv University, Tel-Aviv, Israel, 2006.
17. TAKAGI, H. *Analysis of polling systems*. MIT Press, 1986.
18. van der MEI, R.D. Towards a unifying theory on branching-type polling systems in heavy traffic. In: *Queueing Systems*, 2007, vol.57, no.1, p.29-46.
19. van der MEI, R.D., WINANDS, E. Heavy traffic analysis of polling models by mean value analysis. In: *Performance Evaluation*, 2008, vol.65, no.6-7, p.400-416.
20. van VUUREN, M., WINANDS, E.M.M. Iterative approximation of  $k$ -limited polling systems. In: *Queueing Systems*, 2007, vol.55, no.3, p.161-178.
21. VISHNEVSKY, V.M., SEMENOVA, O.V. Adaptive dynamical polling in wireless networks. In: *Cybernetics and Information Technologies*, 2008, vol.8, no.1, p.3-11.
22. VLASIOU, M., ADAN, I.J.B.F., BOXMA, O.J. A two-station queue with dependent preparation and service times. In: *European Journal of Operational Research*, 2009, vol.195, no.1, p.104-116.
23. VLASIOU, M., YECHIALI, U.  $M/G/\infty$  polling systems with random visit times. In: *Probability in the Engineering and Informational Sciences*, 2008, vol.22, no.1, p.212-245.
24. WIJERMAN, A., WINANDS, E., BOXMA, O.J. Scheduling in polling systems. In: *Performance Evaluation*, 2007, vol.64, no.9-12, p.1009-1028.
25. WINANDS, E.M.M., ADAN, I.J.B.F., van HOUTUM, G.J. Meanvalue analysis for polling systems. In: *Queueing Systems*, 2006, vol.54, p.35-44.
26. ВИШНЕВСКИЙ, В.М., ЛАКОНЦЕВ, Д.В., СЕМЕНОВА, О.В., ШПИЛЕВ, С.А. Модель системы поллинга для исследования широкополосных беспроводных сетей. В: *Автоматика и телемеханика*, 2006, №12, p.123-135.
27. ВИШНЕВСКИЙ, В.М., СЕМЕНОВА, О.В. Математические методы исследования систем поллинга. В: *Автоматика и телемеханика*, 2006, №2, с.3-56.
28. ВИШНЕВСКИЙ, В.М., СЕМЕНОВА, О.В. *Системы поллинга: теория и применение в широкополосных беспроводных сетях*. Москва: Техносфера, 2007. 312 с. ISBN 978-5-94836-166-6
29. ВИШНЕВСКИЙ, В.М., СЕМЕНОВА, О.В., ШПИЛЕВ, С.А. Дуплексная система циклического обслуживания смешанных очередей. В: *Автоматика и телемеханика*, 2009, №12.
30. ВОЛКОВИНСКИЙ, М., КАБАЛЕВСКИЙ, А. *Анализ приоритетных очередей с учетом времени переключения*. Москва: Энергоиздат, 1981, 184 с.
31. ГНЕДЕНКО, Б.В. и др. *Приоритетные системы обслуживания*. Москва: Изд-во Московского Университета, 1973. 447 с.
32. КЛИМОВ, Г.П. *Стохастические системы обслуживания*. Второе издание. Москва, 2011.
33. КЛИМОВ, Г.П., МИШКОЙ, Г.К. *Приоритетные системы обслуживания с ориентацией*. Москва: Изд-во Московского Университета, 1979. 128 с.
34. МИШКОЙ, Г.К. *Обобщенные приоритетные системы*. Кишинев: Штиинца, 2009. 200 с. ISBN 978-9975-67-638-0
35. РЫКОВ, В.В. К анализу поллинг-систем. В: *Автоматика и телемеханика*, 2008, №6, с.90-114.

**Notă:** Această lucrare este elaborată în cadrul Proiectului pentru tineri cercetători 13.819.18.05A finanțat de către CSSDT al AȘM și al Proiectului 13.820.08.06 STCU.F/5854 din cadrul Programului STCU-AȘM „Inițiative comune de cercetare-dezvoltare”.

Prezentat la 07.05.2014