

Universitatea Tehnică a Moldovei

Facultatea Calculatoare, Informatică și Microelectronică

Departament Informatică și Ingineria Sistemelor

Raport

La lucrarea de laborator nr.3

Tema: Modelarea și analiza performanțelor sistemelor de calcul cu masive de procesoare prin rețele Petri stochastice generalizate.

Cursul "Evaluarea performanțelor"

A efectuat :

Studentul grupei CR-18x

Nume Prenume

A verificat :

Dr. hab., prof.univ.

E. Guțuleac

Chisinau 2020

Obiectul de studiu:

Sistem de calcul cu masive de procesoare (*SCM*) fiabile.

Scopul lucrării de laborator:

Modelarea și evaluarea performanțelor *SCM* cu resurse de calcul fiabile prin rețele Petri stocastice generalizate (RPSG), folosind mediul instrumental VPNP Tools de modelare, verificare a proprietăților comportamentale și simulare vizuală a modelelor RPSG.

1. Considerații teoretice:

1.1. Sistem de calcul cu masive de procesoare

Actualmente, tehnologiile avansate și metodele automatizate de proiectare și producere a sistemelor de calcul performante au modificat radical atât arhitectura, cât și metodele de elaborare a acestora [1, 2].

Un *SCM* este constituit dintr-un vector sau dintr-o matrice de elemente de prelucrare (*PE*), cuplate respectiv între ele cu ajutorul unor canale și magistrale comune. O variantă de astfel de arhitectură cu o structură ce constituie un masiv de elemente *PE* cuplate matriceal (*SCM*) este prezentată în figura 1. Arhitectura *SCM* are următoarele particularități [1, 2]:

- Asigură lucrul efectiv al elementelor *PE* atât cu programe de aplicații arbitrare autonome, cât și cu programe de aplicații structurate care au șabloane de comunicații cu vecinii apropiați;
- Sistemul funcționează ca o MIMD arhitectură, care folosește mesaje tranzit, ceea ce exclude unele constrângeri în funcționare de tip *von Neuman*;
- Fiecare nod de calcul (element *PE*) conține un procesor cu memorie proprie și/sau locală, iar prelucrarea autonomă a datelor este locală, mărindu-se astfel gradul de paralelism;
- Asigură o modularitate și regularitate accesibilă integrării în module sau realizării hibride;
- Sistemul are o redundanță avansată care asigură un nivel mărit al toleranței la defectări.

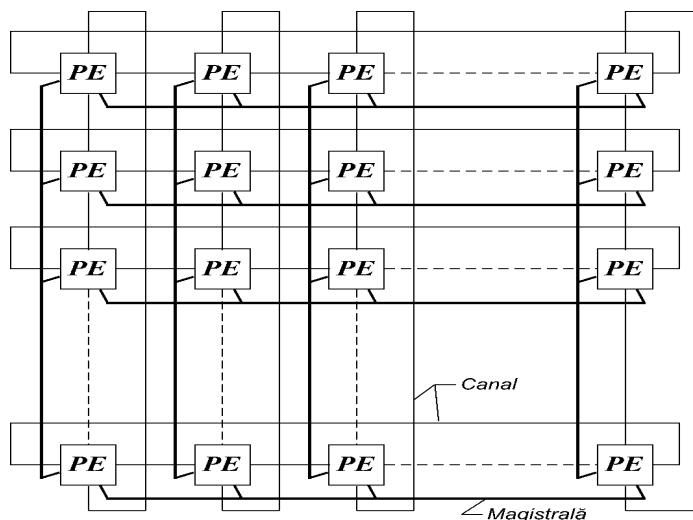


Figura 1. Structura unui *SCM* cuplat matriceal.

Arhitectura *SCM* se obține din structura cuplată bidimensională a unui masiv de elemente *PE*, prin introducerea unei magistrale și a canalelor respective între elementele *PE* la fiecare linie (coloană) a masivului matriceal de elemente *PE*. Sunt considerate două avantaje de bază la utilizarea magistralelor locale comune pentru fiecare linie (coloană) în locul unei singure magistrale comune pentru tot sistemul.

Primul avantaj constă în asigurarea unei fiabilități și toleranțe la defectări mai înalte și a unui trafic mult mai liber, decât în cazul folosirii unei singure magistrale comune. Al doilea avantaj: debitul magistralei în fiecare linie (coloană) nu trebuie să fie același, până când mesajul ajunge la n elemente PE , ca și în cazul unei magistrale comune pentru sistemul multiprocesor (SMP) (se presupune că sistemul SCM are n elemente PE în fiecare linie și m elemente PE în fiecare coloană. Astfel $N = n \times m$ este numărul total de PE strâns cuplate).

Modelarea sistemului SCM , la nivelul de transmitere a mesajelor, corespunde identificării duratelor de procesare a datelor în stare activă a elementelor PE (durata medie $1/\lambda_1$) și a perioadei schimbului de date (durata medie $1/\mu$ care necesită accesul la magistrale și canale. Pentru a elabora modelul sistemului SCM în formă de rețea $RPSG$, sunt acceptate următoarele ipoteze:

1. Sarcinile de lucru sunt uniform repartizate între toate elementele PE , ceea ce va duce la prelucrări și sarcini de comunicații tot uniforme;
2. În limitele liniei (coloanei) a matricei de PE , ce a fost definit la alegerea canalului (sau magistralei), pentru a tranzita mesajul, el trebuie să-l folosească până când mesajul nu va atinge punctul de destinație sau până nu va trece în altă coloană (linie);
3. Dacă magistrala este accesibilă, atunci mesajele se vor transmite totdeauna prin ea, în caz contrar (canale accesibile, iar magistrala nu), mesajele se vor transmite prin canale. Când ambele resurse de comunicație sunt accesibile, se va selecta magistrala, deoarece acum mesajele se vor transmite direct la destinație;
4. Mesajul ajuns la punctul de destinație se exclude din sistemul de comunicație și se va prelucra de către elementul PE receptor.

Pentru a micșora cheltuielile neproductive la schimbul de informație în sistem prin mesaje și pentru a evidenția avantajul structurii unui sistem cu magistrale comune, trebuie ca elementul PE emițător și elementul PE receptor să fie situate pe aceeași linie (coloană), urmând condiția ca sarcina de lucru să fie repartizată uniform între toate elementele PE . Aceasta poate fi obținută prin gestionarea respectivă a repartizării resurselor de calcul utilizate de procese.

1. 2. Modelarea unui SCM vectorial prin $RPSG$

Pentru evaluarea performanțelor sistemului SCM , vor fi utilizate metodele de modelare cu rețele $RPSG$. Un sistem $SCM1$ vectorial cu resurse de calcul fiabile este prezentat în figura 2a.

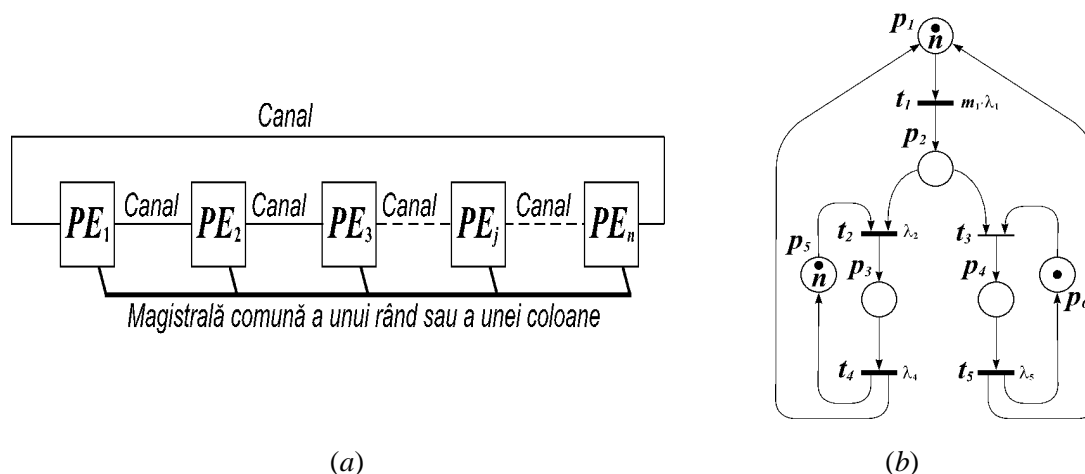


Figura 2. Structura sistemului $SCM1$ (a) și modelul $RPSG_1$ al acestui sistem (b).

Pentru $SCM1$, pot fi definite următoarele stări locale ale resurselor sistemului: p_1 - starea activă a PE , unde PE prelucrează datele conform programului de aplicație din memoria privată sau locală; p_2 -

starea de așteptare a *PE* pentru accesul la magistrală sau la canal, care se exclud mutual; p_3 - starea de legătură prin canale și p_4 este starea de legătură prin magistrală. În aceste stări, *PE* transmite/recepționează mesaje prin canale sau prin magistrale; p_5 - starea liberă a canalelor respective (inițial sunt libere k canale); p_6 - starea liberă a magistralei.

Expresia descriptivă DE_{SCMI} a rețelei GeN_1 , subiacente rețelei $RPSG_1$, ce descrie funcționarea *SCMI* vectorial, este următoarea [1, 2]:

$$DE_{SCMI} = np_1 \downarrow_{t_1} p_2 \checkmark (np_5 \cdot p_2) \downarrow_{t_2} p_3 \downarrow_{t_4} (p_1 \diamond p_5) \checkmark (1p_6 \cdot p_2) \downarrow_{t_3} p_4 \downarrow_{t_5} (p_1 \diamond p_6).$$

În figura 2b, este reprezentat modelul $RPSG_1$, topologia căreia este redată de formula DE_{SCMI} . Acest model are 6 locații și 5 tranziții. Aici elementul *PE* emitor, ce transmite mesajul la *PE* receptor, printr-o succesiune de canale, este modelat ca un element *PE* în regim de comunicare cu o durată $1/\mu$, ce corespunde duratei totale de trecere a mesajului de la emițător la receptor numai prin canale. Acest moment este reprezentat în figura 2b prin instalarea unui jeton în locația p_3 , legată cu tranziția temporizată t_4 , ce se va declanșa cu rata $\lambda_4 = \mu$. Elementul *PE* receptor va trece apoi în starea de legătură. Această procedură se va repeta până când mesajul respectiv va ajunge la elementul *PE* destinație.

Semnificația tranzițiilor rețelei $RPSG_1$ este: t_1 - sfârșitul perioadei de prelucrare în *PE*; t_2 - alocarea canalului de către *PE*; t_3 - alocarea magistralei; t_4 - sfârșitul transmisiei mesajului prin canal și eliberarea lui; t_5 - sfârșitul transmisiei mesajului prin magistrală și eliberarea ei.

În corespundere cu specificația mesajului, numai un element *PE* se află în stare de legătură în intervalul de tranzitare a mesajului prin magistrală. Acest moment este modelat prin trecerea unui singur *PE* în starea de legătură pe magistrală pentru tot intervalul de transmitere a mesajului, ce se va efectua mai repede, decât prin fixarea fiecărui *PE* intermediar în starea de legătură pe canale. Toate n *PE* din linia (coloana) dată au o prioritate egală la alegerea magistralei liniei (coloanei). Acest fapt este modelat prin instalarea a n jetoane în locația p_1 , ce indică faptul că, în starea inițială, toate *PE* sunt în stare activă și prin aceea că toate jetoanele trebuie să parcurgă același traseu al grafului $RPSG_1$ pentru accesul și alocarea magistralei sau a canalului respectiv.

Selectarea magistralei este modelată de tranziția imediată t_3 , iar selectarea canalelor este modelată de tranziția temporizată t_2 . Tranziția imediată t_3 are o prioritate de declanșare mai mare celor temporizate, dacă ambele au fost validate de același marcaj, atunci totdeauna se va selecta magistrala comună. Cât timp magistrala va fi accesibilă, se pot transmite mesaje prin ea, ceea ce aduce la micșorarea cheltuielilor neproductive de timp în sistem. Dacă mai mult de un *PE* așteaptă accesul la magistrală, ele pot fi alese, în mod univoc, pentru utilizarea magistralei, în dependență de prioritatea fiecărui element *PE*. Durata de utilizare a magistralei este modelată de către tranziția temporizată t_5 . Toate duratele de declanșare ale tranzițiilor temporizate t_4 și t_5 corespund duratelor de prelucrare a elementului *PE* și de transmitere a mesajelor. Se presupune, de asemenea, că ultimele sunt repartizate conform legii exponențial-negativă cu diferite rate de declanșare. Fizic, durata de declanșare a tranzițiilor imediate este determinată de partea *hardware*, utilizată la elaborarea canalelor. Rata de declanșare a tranziției temporizate t_1 este marcaj-dependentă și este egală cu $m_1 \cdot \lambda_1$, unde $m_1 = M(p_1)$, ($1 \leq m_1 \leq n$) este numărul curent de jetoane în locația p_1 , iar $1/\lambda_1$ este durata medie a perioadei de prelucrare a datelor de către fiecare *PE*.

PE din structura *SCMI*, ce se află la intersecția liniei și coloanei respective, poate avea nevoie de transmiterea mesajelor la un alt *PE*, aflat în aceeași linie (coloană), cât și a coloanei (liniei) intersectate și, deci, *PE* emitor poate fi utilizat ca *PE intermediar* pentru unele mesaje de tranzit. Acest fapt este modelat

de tranziția temporizată t_2 . Jetoanele în locația p_5 arată că toate canalele din linia (coloana), ce conține PE conectate în circuit, sunt libere, când sistemul este inițializat. Aceasta înseamnă, de asemenea, că la validarea tranziției t_2 PE nu poate transmite mesaje, până când nu se va elibera canalul necesar. Această situație este modelată prin alegerea ratei de declanșare λ_2 a tranziției temporizate t_2 , unde $1/\lambda_2$ este de 2 ori mai mare ca reținerea medie de transmitere a mesajelor prin canal. O jumătate din această întârziere este calculată din reținerea mesajului în canalul PE emitor, ocupat de alt mesaj, iar altă jumătate a întârzierii este calculată de reținerea finală a unui PE intermediar, care reține recepția mesajelor.

Rata de declanșare a tranziției t_4 și t_5 , respectiv, este egală cu λ_4 și λ_5 . Valoarea λ_4 este determinată de numărul mediu de noduri necesare la transmiterea mesajului de la elementul PE emitor la elementul PE receptor numai prin canale. Fie că un oricare PE receptor se află în aceeași linie (coloană) cu PE emitor, atunci numărul mediu de noduri \bar{N}_h , prin care a trecut mesajul în structura dată, va fi:

$$\bar{N}_h = \frac{1}{n-1} \sum_{h=1}^n (h \cdot N_h), \text{ unde}$$

N_h este numărul de elemente PE , aflate la o distanță constituită din h noduri de la emitor, iar n este numărul total de PE în linia (coloana) respectivă.

Relația dintre ratele λ_4 și λ_5 este: $\lambda_5 = \lambda_4 \cdot \bar{N}_h \cdot k$, unde k este raportul dintre viteza de transfer date a magistralei și a canalului.

1.3. Modelarea SCM2 matriceal prin RPSG

În cadrul $SCM2$ matriceal, observăm că elementul PE emitor și elementul PE receptor pot să se afle atât în aceeași linie (coloană), cât și în linii (coloane) diferite. Dacă elementul PE emitor și elementul PE receptor se află în aceeași linie (coloană), atunci stările locale respective, redate de locațiile p_i , $i = \overline{1,6}$, vor fi aceleași ca și în sistemul $SCM1$ vectorial, funcționarea căruia este descrisă de către rețeaua $RPSG_1$. În cazul în care PE emitor și PE receptor se află în linii (coloane) diferite, este necesar de a reprezenta stările traseului mesajului mai întâi în aceeași linie (coloană), apoi trecerea la coloana (linia) respectivă, unde se va afla PE receptor. Deoarece alegerea liniilor (coloanelor) respective este efectuată în mod uniform, vom introduce o stare redată de locația p_7 care va determina selectorul respectiv. Acest selector va selecta în mod probabilistic faptul că PE receptor se află în aceeași linie (coloană) cu PE emitor sau nu se află în aceeași linie (coloană). Dacă PE receptor nu se află în aceeași linie (coloană) cu PE emitor, atunci stările respective locale, ce vor fi parcurse de procesul de transmisie a mesajului la schimbarea liniei (coloanei) în coloana (linia) respectivă, sunt similare cu cele din $RPSG_1$.

Astfel, pentru $SCM2$ în afară de starea redată de locația p_7 , ce a fost introdusă mai înainte, vom avea următoarele stări locale, redate de locațiile p_i , p_{i+6} , ($i = \overline{1,6}$), care sunt similare cu stările respective, redate de locațiile p_i , ($i = \overline{1,6}$) pentru sistemul vectorial $SCM1$.

Luând în considerație cele spuse mai înainte, obținem expresia descriptivă DE_{SCM2} :

$$DE_{SCM2} = n^2 p_1 |_{t_1} p_2 \checkmark (np_5 \cdot p_2) |_{t_2} p_3 |_{t_4} (p_5 \diamond p_7) \checkmark (1p_6 \cdot p_2) |_{t_3} p_4 |_{t_5} (p_6 \diamond p_7) \checkmark DE'_{SCM2},$$

$$DE'_{SCM2} = p_7 |_{t_6} p_1 \checkmark p_7 |_{t_7} p_8 \checkmark (np_{11} \cdot p_8) |_{t_8} p_9 |_{t_{10}} (p_1 \diamond p_{11}) \checkmark (1p_{12} \cdot p_8) |_{t_9} p_{10} |_{t_{11}} (p_1 \diamond p_{12}).$$

Rețeaua $RPSG$, descrisă de expresia DE_{SCM2} , determină topologia modelului $RPGS_2$ (vezi figura 3) cu marcajul inițial $M_0 = (n^2 p_1 1p_4 np_5 np_{11} 1p_{12})$ ce descrie funcționarea sistemului $SCM2$. Jetoanele în locația

p_8 reprezintă *PE* intermediară, care formează un fir de așteptare la accesarea magistralei (canalelor) de *PE* receptor, ce se află în altă coloană (sau linie).

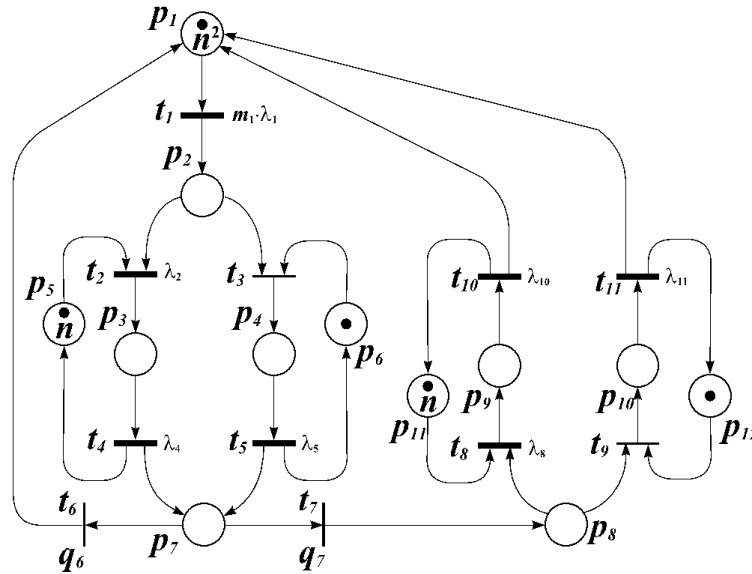


Figura 3. Modelul $RPGS_2$ al sistemului $SCM2$.

Semnificația locațiilor și tranzițiilor modelului $RPGS_2$ este: p_1 - *PE* este în stare activă; p_2, p_8 - *PE* așteaptă accesul la magistrală; p_3, p_9 - *PE* prelucrează mesajul transmis prin canal; p_4, p_{10} - *PE* prelucrează mesajul transmis prin magistrală; p_5, p_{11} - canale în stare liberă; p_6, p_{12} - magistrala este liberă; p_7 - selectarea *PE* receptor, ce se află în aceeași linie (coloană) sau în diferite linii (coloane); t_1 - sfârșitul lucrului activ al *PE*; t_2, t_8 - selectarea canalului; t_3, t_9 - selectarea magistralei; t_4, t_{10} - sfârșitul perioadei transmisiei prin canal și eliberarea canalului; t_5, t_{11} - sfârșitul perioadei transmisiei prin magistrală și eliberarea magistralei; t_7 - *PE* receptor se află în aceeași linie (coloană) cu *PE* emitor, care va trece în starea activă; t_8 - selectarea altei coloane (linii), *PE* receptor se află în diferite linii (coloane) cu *PE* emitor.

Locațiile p_8, p_9, p_{10} și tranzițiile t_8, t_{10} sau t_9, t_{11} arată că mesajul a parcurs traseul de la *PE* intermediar la *PE* receptor.

Dacă *PE* emitor și *PE* receptor se află în aceeași linie (coloană), atunci câte un jeton respectiv se va plasa înapoi în locațiile p_5 și p_6 , indicând astfel faptul că mesajul transmis a ajuns la destinație și *PE* emitor, prin declanșarea tranziției imediate t_6 , va trece în starea activă. Probabilitatea acestei ocurențe este egală cu $q_6 = 1/n$ și deci cu probabilitatea $q_7 = (n-1)/n$ elementul *PE* receptor nu se va afla în aceeași linie (coloană) cu elementul *PE* emitor. În modelul $RPGS_2$, pentru ratele de declanșare ale tranzițiilor temporizate respective avem următoarele relații: $\lambda_2 = \lambda_8$, $\lambda_4 = \lambda_{10}$ și $\lambda_5 = \lambda_{11}$.

Modelul $RPGS_2$ îmbină, foarte bine cele mai importante trăsături ale sistemului: descrie fluxul de cereri și răspunsuri de alocare a memoriilor locale și tranzițiilor comune; reprezintă decizia, în ce constă rezolvarea conflictelor prin folosirea unor priorități de procesare.

În continuare, pentru unele configurații ale sistemului $SCM2$, vom evalua puterea de procesare $\bar{M}(p_1)$, duratele $\bar{\tau}(p_i)$ de așteptare în unele stări și factorul η_a de folosire a structurii sistemului, care este definită ca raportul dintre $\bar{M}(p_1)$, numărul mediu de elemente *PE* în stare activă, și numărul total $N = n^2$ de elemente *PE* în sistem, adică $\eta_a = \bar{M}(p_1) / N$.

2. Ordinea îndeplinirii lucrării de laborator

Îndeplinirea lucrării de laborator prevede următoarele activități:

- pentru configurația, formulată de profesor, a structurii $SCM2$ din figura 1 de elaborat modelul $RPGS_2$ ce descrie funcționarea acestui sistem;
- a redacta în mediul instrumental VPNP Tools modelul $RPGS_2$ elaborat și a determina proprietățile comportamentale ale acestui model;
- pentru varianta formulată de profesor de configurat parametrii cantitativi ai modelului $RPGS_2$ și de construit lanțul Markov timp continuu (LMTC) în baza primelor 15 marcaje accesibile ale $RPGS_2$;
- de determinat rata λ_1 (*mărime necunoscută*) de declanșare a tranziției t_1 astfel încât puterea de procesare $\overline{PP} \geq \overline{M}(p_1)$, unde $\overline{M}(p_1) < M(p_1)$ este parametrul specificat de către profesor;
- În baza modelului RPM1 cu parametrii astfel configurați de obținut cu VPNP graficille 2D și 3D ale următoarelor *caracteristici numerice de performanță (CNP)*:
 - $\overline{M}(p_1)$ - puterea de procesare a $SCM2$; $\overline{M}(p_5)$ și $\overline{M}(p_{11})$ - numărul mediu de EP libere in linii și coloane; $\overline{M}(p_2)$ - numărul mediu de EP în așteptare alocare mașistrală comună sau canale libere;
 - $\bar{\tau}(p_1)$, $\bar{\tau}(p_2)$, $\bar{\tau}(p_5)$ și $\bar{\tau}(p_{11})$ - sunt duratele medii de aflare ale resurselor de calcul în stările respective .

Aceste *CNP* sun funcție de 2 variabile, parametri specificați de către profesor:

- primul argument $\lambda_1 \in [\lambda_1^0, \lambda_{1f}]$ cu pasul $\Delta\lambda_1$;
- al doilea argument $\lambda_5 \in [\lambda_5^0, \lambda_{5f}]$ cu pasul $\Delta\lambda_5$;

3. Prezentarea și susținerea lucrării de laborator

Prezentarea lucrării de laborator se prezintă în formă de *referat* și se susține profesorului în mod practic.

Conținutul referatului:

- foaia de titlu cu denumirea lucrării, obiectivele lucrării de laborator și scurte date teoretice;
- modelul $RPGS_2$ elaborat al $SCM2$; configurarea parametrilor respectivi ai modelului $RPGS_2$;
- graful LMTC pentru primele 15 stări ale $RPGS_2$ și graficele 2D și 3D a varierii *CNP* în funcție de cele 2 variabile specificate;
- analiza comparativă a acestor grafie și determinarea combinației de valori ale celor 2 variabile specificate care determină cele mai bune *CNP*;
- concluzii.

Bibliografie

1. Guțuleac, E. *Modelarea și evaluarea performanțelor sistemelor de calcul prin rețele Petri*. Vol. II. Editura U.T.M., Chișinău, 1999.- 268 p.
2. Guțuleac, E. *Evaluarea performanțelor sistemelor de calcul prin rețele Petri Stochastice*, Chișinău, Ed. „Tehica-Info”. - 2004.