

**ACADEMIA DE ȘTIINTE A MOLDOVEI
INSTITUTUL DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ**

Cu titlu de manuscris

C.Z.U: 004.415.2

REȘETNIKOV ANDREI

**PROIECTAREA CONTROLULUI INTELIGENT BAZAT PE
CALCUL CUANTIC ȘI SOFT COMPUTING AL ROBOTULUI
AUTONOM**

122.03. – MODELARE, METODE MATEMATICE, PRODUSE PROGRAM.

Autoreferatul tezei de doctor în informatică

CHIȘINĂU, 2016

Lucrarea a fost executată în Laboratorul sistemelor inteligente de control a Institutului de analiză a sistemelor și control a Universității de stat "Dubna" Federația Rusă și în Laboratorul de sisteme informaționale a Institutului de matematică și informatică a Academiei de științe a Republicii Moldova.

Conducători științifici:

1. **GAINDRIC C.** , membru-corespondent a AȘM, doctor habilitat în informatică, profesor, Institutul de matematică și informatică a AȘ RM,
2. **ULIANOV S.** , doctor în științe fizico-matematice, profesor, Universitatea de stat "Dubna" FR.

Oponenți oficiali:

1. **RÂJOV A.P.**, doctor în științe tehnice, profesor, USM, FR,
2. **BURȚEVA L. V.**, doctor în informatică, IMI; RM.

Membrii Consiliului științific specializat:

1. **COJOCARU S.**, **președinte**, doctor habilitat în informatică, profesor IMI,
2. **CIUBOTARU C.**, **secretar științific**, doctor în informatică, IMI,
3. **COLESNICOV A.**, doctor în informatică, IMI,
4. **BOSTAN V.**, doctor habilitat în științe tehnice, UTM,
5. **BEȘLIU V.**, doctor în științe tehnice, UTM,
6. **GERDT V. P.**, doctor în științe fizico-matematice, IRCA, Dubna, FR
7. **COTELEA V.**, doctor habilitat în informatică, Academia de științe economice.

Susținerea va avea loc «09» iunie 2016 la orele 14.00 la ședința Consiliului științific specializat **D 01.122.03–02** pe lângă Institutul de informatică AȘ a Republicii Moldova la adresa: sala 340, str. Academică nr. 5, or. Chișinău, MD-2028, Republica Moldova.

Cu conținutul tezei și cu autoreferatul puteți să luați la cunoștință la biblioteca Institutului de matematică și informatică a AȘ RM și pe site-ul Consiliului Național de atestare și acreditare (www.cnaa.md).

Autoreferatul a fost expediat «__» _____ 2016.

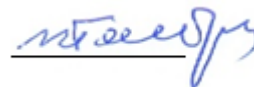
**Secretar științific a Consiliului
științific specializat**



CIUBOTARU C.

Conducători științifici:

dr.hab.,m.c., profesor universitar



GAINDRIC C.,

dr.ș.f-m. profesor universitar



ULIANOV S.

Autor



Rešetnikov A.

© Rešetnikov Andrei, 2016

ORIENTĂRILE CONCEPTUALE ALE CERCETĂRII

Cuvinte cheie: modelare matematică, instrumente software, control inteligent , soft computing, cuantic computing, deducție cuantică fuzzy, controler cuantic fuzzy, logica fuzzy, algoritm genetic.

Actualitatea temei și situația problemei

Una din problemele centrale și actuale ale etapei actuale de dezvoltare a teoriei de control o constituie dezvoltarea sistemelor inteligente de control (SIC) robuste, care funcționează în condiții de control imprevizibile și neobișnuite, ce influențează procesele de obținere, prelucrare, prezentare și formare a cunoștințelor obiective necesare pentru luarea deciziilor de control. În același timp, această problemă este și una din cele mai complicate probleme care apar în procesul creării sistemelor de inteligență artificială.

Scopul cercetării îl constituie dezvoltarea metodelor de suport software și algoritmic al procesului de modelare, proiectare și elaborare a SIC robuste pentru obiecte de control slab formalizate care funcționează în situații imprevizibile și neobișnuite în bază de soft computing și a calculelor cuantice.

Baza teoretică și metodologică a cercetării

Soluționarea obiectivelor propuse s-a realizat pe baza principiilor și metodelor de analiză sistemică, teoria controlului automat, teoria informației, soft computing, teoria informației cuantice și algoritmi cuantici.

La baza studiului au fost puse lucrările realizate în domeniul teoriei și a sistemelor inteligente de control. Printre acestea găsim lucrările autorilor: A.N. Averkin, V.I. Vasiliev, Iu.G. Evtușenko, Iu.I. Juravliov, L. Zade, B.G. Iliasov, P.S. Krasnoșciokov, L.V. Litvințeva, I.M. Makarov, V.F. Melehin, B.N. Petrov, C.V. Rudakov, A.P. Rîjov, A.N. Raikov, V.B. Tarasov, S.V. Ulianov, Iu.A. Flerov, A.V. Iazenin și alții.

Noutatea științifică a rezultatelor obținute

1. Teoretic și experimental s-a confirmat existența unui efect sinergic de autoorganizare în procesul formării unei baze de cunoștințe robuste din baze de cunoștințe proiectate nerobuste.
2. S-a elaborat un model de inferență cuantică fuzzy, care permite de a introduce principiul de autoorganizare a bazelor de cunoștințe în procesul de proiectare a sistemelor inteligente de control.
3. S-a propus o nouă metodă de validarea a modelului matematic al obiectului de control cu parametri insuficient definiți pe baza algoritmului genetic și a semnalului fizic de la un obiect de control real.
4. S-a elaborat un algoritm genetic multicriterial pentru proiectarea bazelor de cunoștințe ale reguletoarelor fuzzy.

Semnificația teoretică a lucrării

Prin utilizarea a noi tipuri de calcule inteligente s-a arătat posibilitatea realizării unei robustețe globale a sistemului inteligent de control în timp real.

Utilizarea algoritmului cuantic de autoorganizare a cunoștințelor permite de a extrage informația cuantică ascunsă în stările clasice pentru formarea efectului sinergic de autoorganizare a bazelor de cunoaștere în sistemul inteligent de control în timp real.

Semnificația practică a rezultatelor

Rezultatele cercetării în formă de instrumentare software independente orientate pe-probleme pot fi utilizate de către ingineri și specialiști în proiectarea SIC robuste pentru sisteme tehnice.

Rezultatele științifice principale înaintate spre susținere

1. Tehnologia propusă de proiectare a controlerului fuzzy pe baza semnalului de măsurare fizică și a optimizatorului bazelor de cunoștințe pe soft computing în mare măsură elimină subiectivitatea la formarea bazelor de cunoștințe și permite de a proiecta sisteme inteligente de control fără utilizarea modelului matematic tradițional al obiectului de control.
2. Metoda de validarea a modelului matematic cu parametri insuficient definiți (neclari) în baza algoritmului genetic permite de a utiliza o sursă suplimentară de informații pentru formarea unui semnal de instruire (SI) la proiectarea reguletoarelor fuzzy și a celor cuantice.
3. Folosirea calculelor cuantice soft dau posibilitatea creșterii robusteții sistemului de control integrat autonom în cazul situațiilor anormale și neobișnuite.
4. Realizarea calculelor de tip cuantic la procesorul clasic permite de a introduce proprietatea de autoorganizare a reguletoarelor fuzzy în structura sistemelor inteligente de control automat și de a îmbunătăți fiabilitatea și robustețea sistemului.

Aprobarea rezultatelor științifice

Principalele și rezultate ale lucrării au fost raportate și discutate în cadrul conferințelor și congreselor științifice:

- International Conference on Application of Fuzzy Systems and Soft Computing» Turkey, Antalya September 3-4, 2015.
- XXII Научно – практическая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов университета «Дубна», 16-28 марта, Россия, г. Дубна, 2015.
- Tendințe contemporane ale dezvoltării științei: viziuni ale tinerilor cercetători, Conferința Științifică Internațională a Doctoranzilor, 10 martie, Chișinău, 2015.
- I международная Пospelовская летняя школа - семинар для студентов, магистров и аспирантов, Россия, Светлогорск, 30 июня – 6 июля, 2014.
- Seventh International Conference on Soft Computing, Computing with Words and Perceptions in System Analysis, Decision and Control (ICSCCW-2013), September 2-3, Turkey, Izmir, 2013.

- Международная летняя школа-семинар по искусственному интеллекту для студентов, аспирантов и молодых ученых «Интеллектуальные системы и технологии: современное состояние и перспективы» (ISyT-2013), 1-6 июля, Россия, г. Тверь, 2013.
- XIII Международная научно – практическая конференция «Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте», 20-22 мая, Россия, г. Коломна, 2013.
- Seventh world conference on intelligent systems for industrial automation (WCIS -2012), November 25-27, Tashkent, Uzbekistan, 2012.

Publicații și contribuția personală

Baza tezei o constituie studiile teoretice și experimentale realizate de autor în anii 2010-2015. Rezultatul cercetărilor realizate a devenit publicarea a 38 lucrări științifice (15 nemijlocit la tema tezei), inclusiv a 4 articole în reviste din lista Comisiei Superioare de Atestare a Ministerului Educației și Științei al Federației Ruse și în Computer Science Journal of Moldova.

Autorul a elaborat nemijlocit suportul algoritmic și software pentru a sprijini procesul de proiectare a SIC bazate pe tipuri noi de calcule inteligente, cum ar fi calculele cuantice și soft computing. La Serviciul Federal de proprietate intelectuală a Federației Ruse a fost înregistrat softul ”Suportul software a controlerilor intelectuali pe baza tehnologiilor de calcul cuantic și soft computing”.

S-a realizat o interpretare și sintetizare a rezultatelor obținute de pe urma procesului de modelare și a experimentelor efectuate pe bază de robot autonom și a modelul său matematic.

Structura și volumul lucrării

Teza se compune din introducere, patru capitole, concluzii, referințe bibliografice și două anexe. Volumul total al lucrării, inclusiv referințele bibliografice și anexele, este de 147 pag., din care textul de bază este expus pe 121 de pagini. Bibliografia conține 152 de referințe.

În introducere se argumentează actualitatea temei alese pentru cercetare, se stabilesc scopul și obiectivele lucrării, se formulează rezultatele obținute, se face o scurtă prezentare a tezei pe capitole.

În elaborările teoretice și la realizarea practică a sistemelor de control se acordă o importanță deosebită scoaterii în evidență a rolului și eficacității SIC, și de asemenea perfecționării calitative a tehnologiilor informaționale moderne a controlului intelectual a obiectelor fizice de control (OC) complexe și slab structurizate.

Complexitatea și formalizarea slabă a sistemelor fizice, la rândul său, aduc la aproximarea modelelor obiectului de control și aplicarea soluțiilor apropiate, care nu garantează condițiile necesare și suficiente pentru atingerea scopului de control, atât în situații neprevăzute, cât și în situațiile imprecise și cu risc informațional. De aceea, în teoria sistemelor de control una dintre abordările eficiente de reducere a riscului adoptării unei soluții ineficiente, datorită insuficienței

descrierii modelului OC, este dezvoltarea structurilor robuste a SIC.

Folosirea tehnologiei de calcul soft, bazată pe algoritmi genetici, logicii fuzzy și a rețelelor neuronale fuzzy, au lărgit domeniul de aplicare eficace a controlerilor fuzzy în sistemele inteligente de control, datorită adăugării a noilor funcții sub formă de studiere și adaptare. Totuși, în cazul general a situațiilor anormale de control, este foarte greu de proiectat o structură SIC ”global bună” și robustă. Această limitare este în mod deosebit caracteristică pentru situațiile de control imprevizibile, când OC funcționează în condiții care se schimbă brusc și îngreunează controlul (refuzul sensorilor, apariția bruierilor și zgomotelor în sistemul de măsurare, apariția unei întârzieri a semnalelor de control sau a măsurării indiciatorilor, schimbarea neașteptată a structurii OC sau a particularităților dânsului ș.a.m.d.).

Rezolvarea unor probleme de acest gen poate fi găsită pe baza introducerii principiului autoorganizării în procesul de proiectare a bazei de cunoștințe (BC) a controlerilor fuzzy, care se realizează și susține de program modelul de deducție cuantic fuzzy elaborat cu aplicarea metodologiei de calcul cuantic soft și a ingineriei de sistem.

În primul capitol se examinează situația actuală a procesului de elaborare și realizare a SIC, folosind tehnologii inteligente de calcul și problemele care apar la realizarea acestora. Analiza literaturii despre situația procesului modern de proiectare a SIC demonstrează, că instrumentariile moderne nu pot rezolva corect și eficace problemele legate de proiectarea sistemelor de control pentru obiectele de control slab formalizate și slab structurate, care funcționează în situații imprevizibile sau neobișnuite. Aceasta este condiționat de absența nivelului necesar a calculelor inteligente în structurile instrumentariului modulelor studiate, fapt care nu permite rezolvarea problemelor de proiectare a sistemului inteligent de control cu nivelul cerut a robusteții.

În ciuda disponibilității pachetelor software standard (ANFIS, FIS, Robust Control), lipsesc analoage ale tehnologiilor informaționale speciale pentru activitatea de control în situațiile anormale și neobișnuite cu obiectele de control slab formalizate.

Dat fiind faptul că complexe de programe susmenționate nu permit introducerea principiului de autoorganizare în procesul de proiectare a sistemelor de control inteligent și creșterea robusteții funcționării sistemului de control, crearea noii tehnologii de proiectare a sistemului inteligent de control pe baza calculelor cuantice este un obiectiv actual.

În capitol sunt cercetate principiile fizice fundamentale a procesului de control, care permit stabilirea legăturii mutuale dintre caracteristicile calitative a comportamentului dinamic obiectului controlului (OC) și aparatul executiv a sistemului automat de control: stabilității, controlabilității și robusteții. Cu acest scop se folosesc abordările informaționale și termodinamice, reunite prin condiția omogenă a criteriului stabilității dinamice (funcția

Leapunov), a controlabilității și robusteții.

Se face o trecere în revistă a dezvoltării structurilor sistemelor inteligente de control. Pe baza rezumatului analitic a tehnologiilor informaționale de proiectare a sistemelor de control inteligente se poate trage concluzia despre necesitatea rezolvării următoarelor probleme a procesului de proiectare:

- 1) dezvoltarea și fundamentarea fizică a modelului matematic a algoritmului cuantic de control a autorganizării a bazelor de cunoștințe și evidențierii rolului analoagelor efectelor fizice (cuantice și termodinamice) în realizarea procesului atingerii garantate a calității și scopurile de control pe baza tehnologiei de calcul cuantic soft, cu alte cuvinte este necesară dezvoltarea tehnologiei de proiectare a celulelor algoritmice cuantice în sistemele inteligente de control pentru creșterea robusteții funcționării în situațiile imprevizibile și neobișnuite de control;
- 2) problemele aplicării tehnologiei de proiectare bazelor de cunoștințe robuste în structura sistemelor inteligente de control.

Tocmai obiectivul elaborării sistemului inteligent de control autoorganizat a obiectelor de control slab structurate, care sunt capabile să funcționeze și să garanteze atingerea scopului de control în condițiile neprevăzute (neobișnuite), este cel mai actual (și greu de rezolvat) în teoria sistemelor de control.

Rezolvarea acestei probleme este condiționată de necesitatea realizării unui șir de noi (pentru robustețea controlului intelectual) principii fizice și informațional-termodinamice:

1. Principiul compensării insuficienței informaționale a descrierii modelului (slab structurate) a obiectului de control OC la alegerea nivelului corespunzător a calculelor inteligente;
2. Principiul concordanței algoritmului controlului inteligent a nivelului complexității și insuficiența viziunii cunoștințelor despre mediul înconjurător a funcționării obiectului de control (legătura entropiei informaționale cu măsura algoritmică a complexității Kolmogorov);
3. Principiul pierderilor minime de resurse folosite (minimumul generalizării entropiei – legea fizică a controlului optim) în sistemul ”obiect de control + controler”;
4. Principiul de nedistrugere și creștere a eficacității nivelului inferior executiv a sistemului de control datorită autoorganizării bazei de cunoștințe a controlerului intelectual;
5. Principiul sinergismului informației cuantice ascunse din stările clasice a proceselor de control proiectate.

Principiile enumerate au fost cercetate în teză din punctul de vedere a proiectării controlerilor fuzzy inteligenți robuști în structura sistemului de control cu unirea ulterioară (cu aplicarea calculelor cuantice) bazelor de cunoștințe într-un sistem unic robust inteligent.

În capitolul doi sunt prezentate principiile de bază a calculelor cuantice și soft computing. Se

examinează instrumentarul elaborat pentru proiectarea SIC. Instrumentarul pentru proiectarea SIC, examinat în acest capitol, are la bază tehnologia soft computing, ceea ce garantează proiectarea direcționată a nivelului necesar de robustețe, datorită proiectării optime a numărului total de reguli de producție și tipuri de funcții de apartenență în bazele de cunoștințe. Figura 1 prezintă principalele etape ale procesului de proiectare a bazelor de cunoștințe pentru regulatoarele fuzzy, folosind instrumentarul elaborat [2, 3].

Intrarea optimizatorului bazelor de cunoștințe este semnalul de formare (SS), care poate fi obținut ori la etapa modelării stocastice a comportamentului obiectului controlului (cu folosirea modelului matematic), sau experimental, adică în mod direct din rezultatele măsurării calităților dinamice a modelului fizic a obiectului controlului.

Structural optimizatorul bazelor de cunoștințe este compus din algoritmi genetici interconectați (AG1, AG2, AG3), care optimizează componente separate a bazei de cunoștințe [1] (fig. 1).

Specificarea pașilor algoritmului optimizării elaborat sunt prezentate în continuare.

Pasul 1: Alegerea modelului de deducție fuzzy. Utilizatorul definește tipul modelului de deducție fuzzy (Sugheno, Mamdani, ș.a.m.d.), și numărul variabilelor de intrare și ieșire. Vom menționa că, arhitectura deducției fuzzy a fost elaborată cu participarea autorului și prezentată în.

Pasul 2: Formarea variabilelor lingvistice. Cu ajutorul AG1 se definește numărul optim de funcții de apartenență pentru fiecare variabilă lingvistică de intrare, și de asemenea se selectează forma optimă de prezentare a funcțiilor de apartenență-(triunghiulară, Gauss ș.a.m.d.).

Pasul 3: Formarea bazei de reguli. La această etapă se folosește un algoritm special de selectare a celor mai ”robuste reguli” în concordanță cu următoarele două criterii:

1) criteriul ”sumar”: selectarea numai a acelor reguli, care satisfac următoarea condiție: $R_{total_fs}^l \geq TL$, unde TL (threshold level) – nivelul de activare a regulii impus (manual sau automat), și

$$R_{total_fs}^l = \sum_{k=1}^N R_{fs}^l(t_k)_{,a}, \quad R_{fs}^l(t_k) = \prod \left[\mu_{j1}^l(x_1(t_k)), \mu_{j2}^l(x_2(t_k)), \dots, \mu_{jn}^l(x_n(t_k)) \right]$$

Unde t_k – momentele timpului, $k=1, \dots, N$, N egale numărului de puncte în semnalul de control; $\mu_{jk}^l(x_k), k=1, \dots, n$ – funcțiile apartenenței variabilelor de intrare, l – indexul regulilor în baza de cunoștințe; simbolul ” $\prod$ ” reprezintă operația de conjuncție fuzzy (în particular, poate fi interpretată ca un produs).

2) criteriul ”maxim”: selectarea regulilor, care satisfac condiția:

$$\max_t R_{fs}^l(t) \geq TL$$

Tabelul 1. Funcțiile de adecvare a algoritmurilor genetice în optimizatorul bazelor de cunoștințe

Tipul AG	Criterii	Funcția de adecvare	Rolul FA
AG₁: Optimizarea variabilelor lingvistice	Maximumul entropiei informaționale compatibile.	$H^{(j,l)}_{x_i x_k} = H\left(x_i \middle x_i = \mu^j_{x_i}, x_k = \mu^l_{x_k}\right) =$ $-\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left[\mu^j_{x_i}(x_i(t)) * \mu^l_{x_k}(x_k(t)) \right] \log \left[\mu^j_{x_i}(x_i(t)) * \mu^l_{x_k}(x_k(t)) \right]$ unde * – operația conjuncției fuzzy selectată	Selectarea puterii optime mulțimilor termenilor lingvistici variabili a componentului obiectului controlului
	Minimumul informației despre semnalele în mod aparte	$H^j_{x_i} = -p^j_{x_i} \log(p^j_{x_i}) = -p\left(x_i \middle x_i = \mu^j_{x_i}\right) \log \left[p\left(x_i \middle x_i = \mu^j_{x_i}\right) \right] =$ $= -\frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \mu^j_{x_i}(x_i(t)) \log \left[\mu^j_{x_i}(x_i(t)) \right]$	Înlăturarea surplusului obiectului controlului
AG₂: Optimizarea bazei de reguli	Minimumul greșelilor de aproximare	$E = \sum_p E^p, \text{ unde}$ $E^p = 1/2(F(x_1^p, x_2^p, \dots, x_n^p) - d^p)^2$	Selectarea parametrilor optimi a părților drepte a regulilor
AG₃: Setarea BC	Minimumul greșelilor de aproximare sau maximumul entropiei informaționale compatibile	$E = \sum_p E^p$	Setarea "Fină" a parametrilor funcției apartenenței

Pasul 4: Optimizarea bazei de reguli. Cu ajutorul a AG2 se optimizează părțile drepte a regulilor BC, definite la pasul 3. La această etapă se găsește soluția, apropiată optimumului global (minimum de greșeli de aproximație OC). Cu ajutorul pasului următor această soluție poate fi îmbunătățită local.

Pasul 5: Setarea bazei de reguli. Cu ajutorul AG3 se optimizează părțile stângi și drepte a BC, adică se selectează parametrii optimi a funcțiilor apartenenței variabilelor de intrare/ieșire (din

punctul de vedere a funcției de utilitate date AG). În acest proces de optimizare se folosesc diferite funcții a adecvării, care sunt selectate de către utilizator (pașii 5-1, 5-2 pe fig. 2.2). La această etapă este posibilă de asemenea setarea BC cu ajutorul metodei tradiționale de propagare inversă a erorii (vezi pasul 5-3 pe fig. 2.2). Particularitatea inginerică importantă a etapei a 5-a este posibilitatea conectării la obiectul real a controlului și setarea BC în regim de timp real.

În tabelul 1 sunt prezentate funcțiile de adecvare (FA) pentru trei algoritmi genetici, care sunt folosiți în OBC (optimizatorul bazei de cunoștințe). Fiecare FA reprezintă criteriul corespunzător. În tabel este descris de asemenea rolul FA selectate la acest pas a calculării.

Rezultatul aproximației semnalului cercetat este baza de cunoștințe constituită pentru controlerul fuzzy, care include multiplicitatea finală optimă a regulilor și parametrii formați optim a funcției apartenenței variabilelor de intrare și ieșire a controlerului fuzzy.

În acest fel, rezultatul proiectării este tipul universal a aproximatorului sub forma controlerului fuzzy cu structura optimă a bazei de cunoștințe.

În figura 2 sunt prezentate criteriile de calitate tipice a controlului, intercorelația lor cu diferite genuri de calcul și tipuri de modelare, și de asemenea ierarhia nivelurilor calității controlului în funcție de nivelul sistemului intelectual automat de control necesar.

Astfel, fig. 2 prezintă principalele componente și interconexiunile lor în cadrul tehnologiei informaționale de proiectare (TIP), bazate pe noi tipuri de calcule (soft computing și calcule cuantice). Punctul cheie al acestei TIP îl constituie utilizarea metodei de extragere a cunoștințelor obiective despre procesul de control, indiferent de experiența subiectivă a experților și proiectarea bazelor de cunoștințe obiective ale reguletoarelor fuzzy, care constituie elementul principal al SIC robust. Rezultatul final de aplicare a acestei TIP îl constituie baza de cunoștințe robustă a reguletoarelor fuzzy, care permite SIC să funcționeze la diferite tipuri de incertitudine informațională.

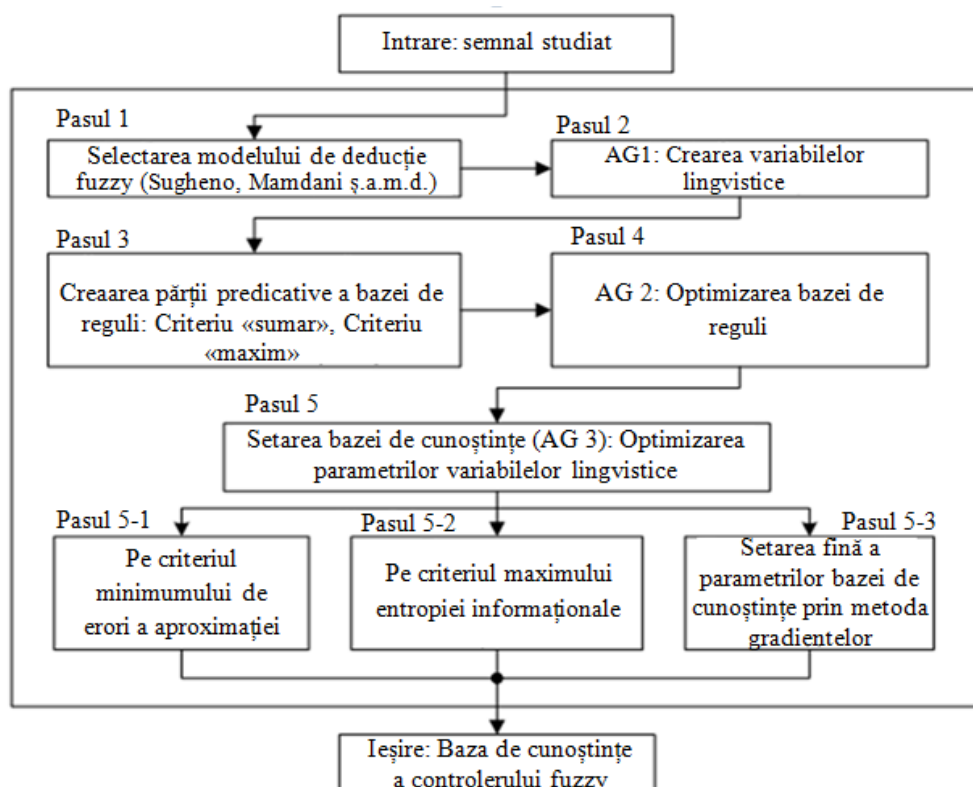


Fig. 1. Principalele etape ale procesului de proiectare a bazelor de cunoștințe

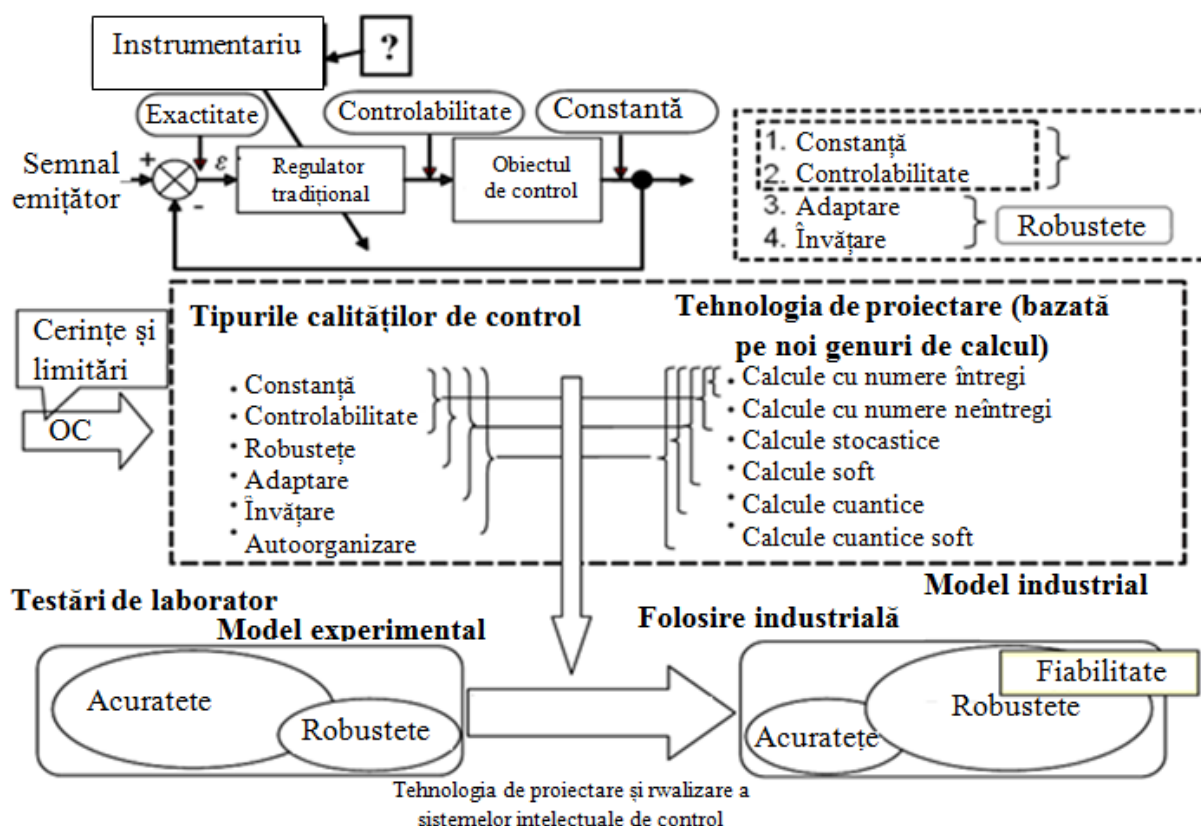


Fig. 2. Corelația dintre criteriile calității control ului, tipurile calculelor inteligente și tipurile modelării în tehnologia de proiectate a bazelor de cunoștințe robuste ale reguletoarelor fuzzy

Numeroasele studii efectuate demonstrează că sistemele inteligente de control automat au următoarele avantaje:

- păstrează principalele avantaje ale sistemelor de control tradiționale, cum ar fi stabilitatea, manevrabilitatea, observabilitatea, care constituie baza proiectării SIC;
- posedă o bază de cunoștințe optimă, în funcție de criteriul prestabilit al calității de control, precum și au posibilitatea de corectare și adaptare la schimbarea situației de control;
- asigură realizarea calității de control necesare datorită bazei de cunoștințe proiectate;
- sunt sisteme deschise, adică permit introducerea criteriilor suplimentare ale calității de control și restricție la caracteristicile calitative ale procesului de control.

Una dintre principalele probleme de aplicare eficientă a tehnologiei soft computing în problemele de control o constituie soluționarea următoarelor sarcini:

- determinarea obiectivă a tipului funcției de apartenență (FA) și a parametrilor ei în regulile de producție ale bazelor de cunoștințe;
- determinarea structurii optime a rețelelor neuronale fuzzy (RNF) în problemele educației (aproximația semnalului de instruire cu eroare necesară (predeterminată) și cu o cantitate minimă de reguli de producție în baza de cunoștințe);
- aplicarea unor algoritmi genetici (AG) în probleme de control multicriterial în prezența unor restricții discrete ale parametrilor obiectului de control.

Problemele enunțate au fost rezolvate și aprobate pe baza Optimizatorului bazelor de cunoștințe (OBC) [2-5], aplicând tehnologia soft computing și a calculelor cuantice. Instrumentarul intelectual elaborat a permis proiectarea bazelor de cunoștințe robuste pe baza soluționării unei probleme algoritmic greu de rezolvat a teoriei inteligenței artificiale - extracția, prelucrarea și formarea cunoștințelor obiective fără a folosi evaluările de expert.

În capitol se examinează aparatul matematic quantum soft computing cu aplicare la proiectarea SIC automat. S-a descris produsul software elaborat, care permite proiectarea reguletoarelor fuzzy cuantice pentru controlul obiectelor dinamic instabile în situații de control neobisnuite [6, 7].

Sarcina principală, soluționată prin procedura inferenței cuantice fuzzy (ICF), o constituie formarea bazei de cunoștințe cu un nivel ridicat de robustețe dintr-o mulțime cu număr finit de baze de cunoștințe pentru reguletoare fuzzy, formate prin aplicarea tehnologiei soft computing.

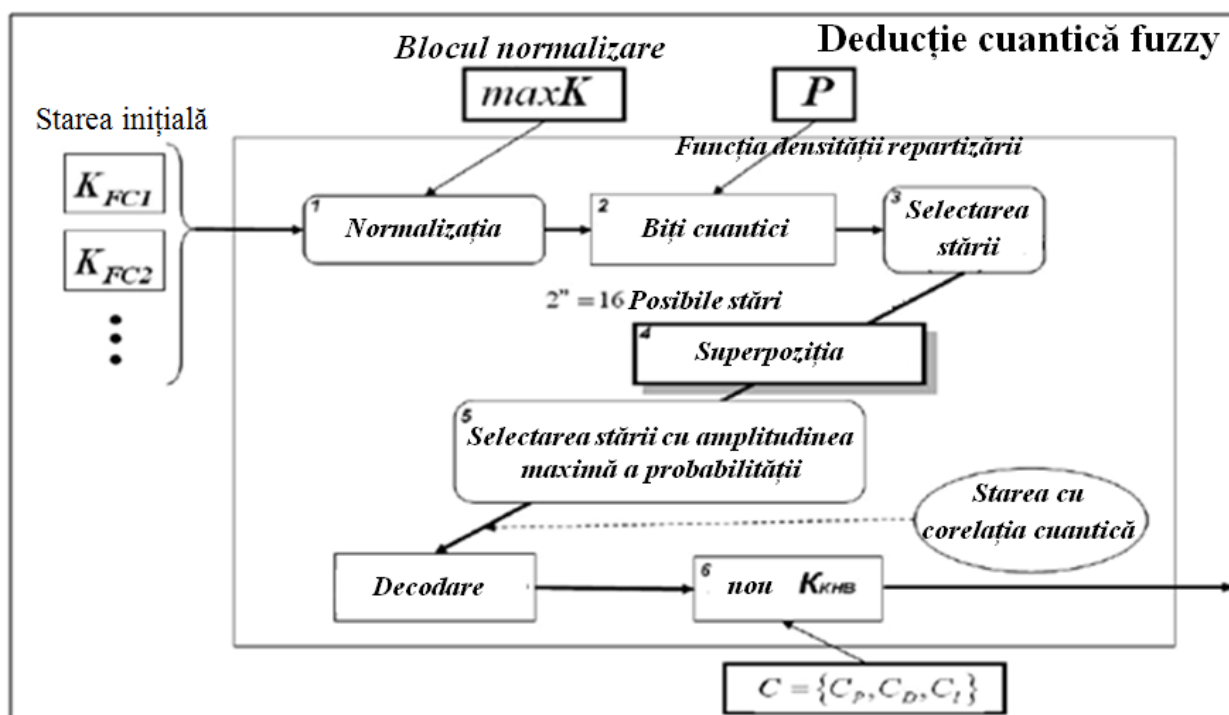


Fig. 3. Structura funcțională a ICF în timp real

S-a examinat pe scurt structura funcțională și funcționarea principalelor blocuri ale ICF. În calitate de exemplu s-a examinat, fără a pierde din comunitatea rezultatului, procesul de extragere a informației cuantice ascunse, de preclurare a datelor și formare a unei baze de cunoștințe robuste a controlerului fuzzy, folosind bazele de cunoștințe ale două regulatoare fuzzy, concepute pentru situații de control fixe (diferite unele de altele) și folosind diferite resurse informaționale. Fig. 3 prezintă structura funcțională a modelului ICF.

La prima etapă a proiectării deductiei cuantice fuzzy în optimizatorul cuantic elaborat se încarcă histogramele repartizării semnalelor de ieșire a controlerilor fuzzy în cazul funcționării lor în condiții tipice lor. După încărcarea datelor se selectează genul de corelație cuantică dintre coeficienții de amplificare. Formarea stărilor complicate se realizează pe baza matricei de corelație selectată, care se amplasează în fereastra optimizatorului elaborat. În optimizatorul cuantic se folosesc corelații de trei genuri: spațială, spațial-temporală și temporală.

Trăsătura distinctivă principală care caracterizează relația dintre tipurile de corelație clasică și cuantică este prezența următorului fapt. În varianta cuantică este prezentă corelația reciprocă (mixtă) între starea reală și virtuală a semnalului de comandă normat. Corelația clasică în acest caz reprezintă un caz special de corelație cuantică totală. Prin urmare, corelația totală constă din următoarele părți: clasică (între valorile reale ale semnalului de comandă normat); cuantică (între valorile virtuale ale semnalului de comandă normat) și mixtă (între valorile reale și virtuale ale semnalului de comandă normat). Primele două tipuri de corelații se studiază în cadrul teoriei

corelative a proceselor aleatoare (clasice și cuantice). Al treilea tip este unul nou în teoria proceselor aleatoare cuantice și reflectă efectul interferenței corelației clasice și cuantice. Acest tip de corelație totală conține o corelație clasică ascunsă în suprapunerea formată de biți cuantici și servește ca sursă informațională pentru extragerea unor informații cuantice valoroase suplimentare (non-observabile).

La intrarea deducției cuantice fuzzy în timp real intră semnale de control de la bazele de cunoștințe formate anterior a controlerilor fuzzy (pas "Stare inițială" pe fig. 3). Pasul următor este procesul de normalizare (blocul 1 pe fig.3) a semnalelor obținute în intervalul $[0, 1]$ pe calea divizării amplitudinilor traiectoriei semnalelor de control la amplitudini maxime (bloc "max K" împreună cu blocul 1 la fig.3).

După normalizarea semnalelor se efectuează formarea biților cuantici (blocul 2 pe fig. 3) din mărimile curențe a semnalelor de control. Cu acest scop preliminar se și definește funcția densității repartizării probabilității pe traiectoriile semnalelor de control reprezentate selectiv. În continuare pe calea integrării funcției de repartizare a densității probabilității obținute se definesc funcțiile integrale a repartizării probabilității (blocurile P și 2 pe fig.3).

Funcțiile de repartizare a probabilității obținute în acest fel permit scoaterea în evidență a stării "virtuale" $|1\rangle$ a semnalelor de control pentru formarea superpoziției cu ajutorul transformării Adamar din starea curentă a semnalelor de control introduse. În acest fel se folosește legea probabilității de tip $P(|0\rangle) + P(|1\rangle)$, unde $P(|0\rangle)$ și $P(|1\rangle)$ – probabilitățile stărilor curențe reale și virtuale a semnalului de control, corespunzător. Pentru starea curentă reală normată a semnalului de control cu ajutorul funcției integrale de repartizare a probabilității se stabilește probabilitatea dânsei. În continuare din legea păstrării probabilității a stării virtuale a semnalului de control.

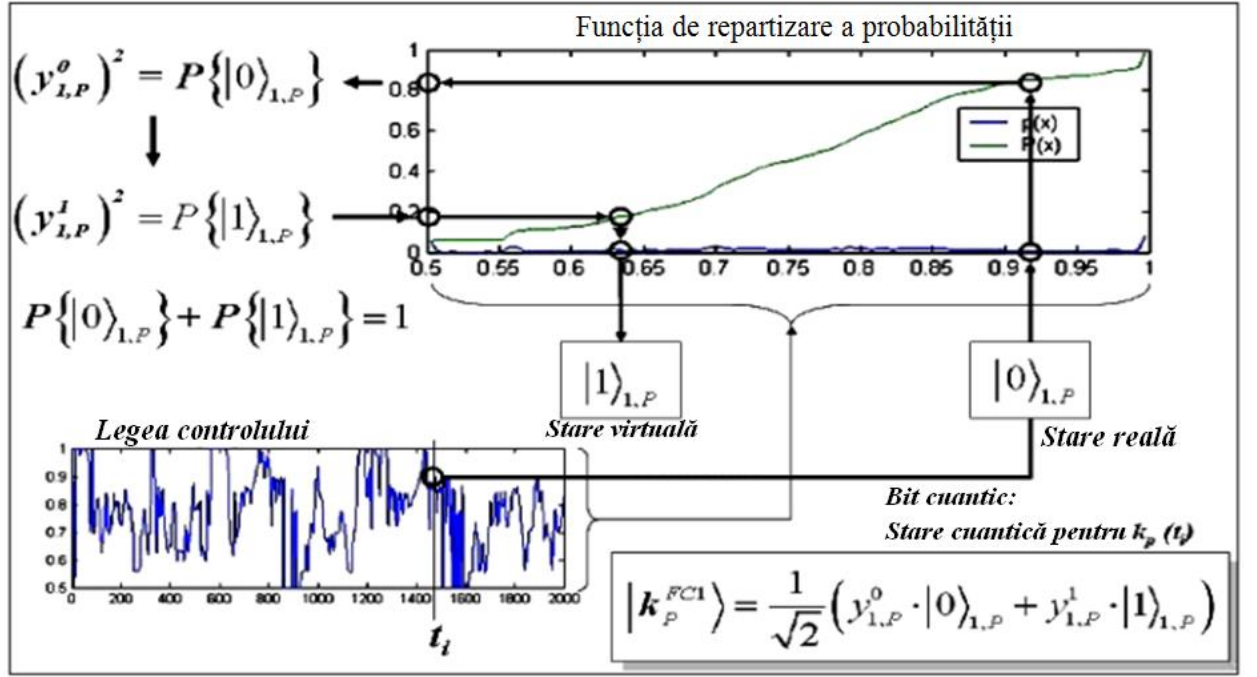


Fig. 4. Procesul formării biților cuantici (blocul 2)

Folosind aceeași lege integrală a repartizării probabilității, pe calea reflectării inverse, se calculează valoarea numerică a stării virtuale corespunzătoare a semnalului de control. Ca atare, superpoziția sistemului cuantic ”starea reală – starea virtuală” au următoarea imagine:

$$|\psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}} (\sqrt{P(|0\rangle)}|0\rangle + \sqrt{1-P(|0\rangle)}|1\rangle) = \text{bit cuantic}.$$

În figura 4 este reprezentat procesul de calculare și formare a bitului cuantic pentru starea curentă normalizată a semnalului de control, care descriu coeficienții de amplificare a controlerului fuzzy proporțional-integro-diferențial (controler PID) în structura sistemului inteligent de control SIC.

Operația superpoziției permite efectuarea unirii logice a diferitelor baze de cunoștințe și v-a scoate în evidență prioritatea corelației stărilor separate în superpoziția bazei de cunoștințe cu aplicarea diferitelor criterii de optimizare.

Alegerea stării cuantice în superpropoziție la tipul fixat a corelației se efectuează în blocul 5 pe fig. 3. Cu acest scop se folosește termenul de ”stare cuantică intelectuală”, introdus în teoria cuantică a măsurărilor ca stare cu o nedefinire minimală. În algoritmul cuantic ”starea cuantică intelectuală” este minimumul diferenței dintre entropia informațională a stării cuantice Shanon și entropia fizică a stării cuantice von Neiman.

În acest fel, calcularea stărilor amplitudinilor cuantice cu genurile amestecate a corelației cuantice (blocul 5 pe fig. 3) și selectarea dintre dănsese a celei maxime, se realizează modelul oracolului cuantic, care deține (în conformitate cu definirea termenului ”Oracol cuantic”)

informația necesară despre soluția căutată. Folosind procedura standard de decodare (produsul scalar al vectorilor în spațiul Gilbert) și selectând coeficienții de scalare pentru valorile de ieșire a coeficienților de amplificare proiectați (fig. 3, blocul 6), se efectuează lucrul de integrare a algoritmului cuantic a deducției cuantic fuzzy DCF.

Modelul de algoritm cuantic expus pentru DCF permite rezolvarea problemelor clasice de proiectare a bazelor de cunoștințe robuste a controlerilor fuzzy în structurile SIC, care nu are analogul rezolvărilor în cadrul familiei algoritmilor clasici randomizați.

În capitolul trei se examinează modelarea matematică realizată de autor și experimentul fizic. Analiza calității controlului controlerului PID, a reguletoarelor fuzzy și a reguletoarelor cuantice pe baza instrumentarului software OBC și ICF s-a realizat cu ajutorul modelului matematic și a unui obiect de control real. Reguletoarele au fost elaborate pentru funcționare în situație de control tipică.

În capitol este cercetat obiectivul clasic de control a căruciorului cu pendul răsturnat. Acest gen OC nestabil este tipic (Benchmark) pentru testarea programată a instrumentariului robust a controlului intelectual. Controlul obiectului de tip "Cărucior – pendul" este unul dintre obiectivele tipice în teoria controlului, dat fiind faptul că rezolvarea acestui obiectiv demonstrează vizibil calitatea controlată (revendicată) a sistemului de control automat SCA. Analizăm dinamica modelului în genul căruciorului cu o singură osie (fig. 5) cu pendul răsturnat, fixat pe osie.

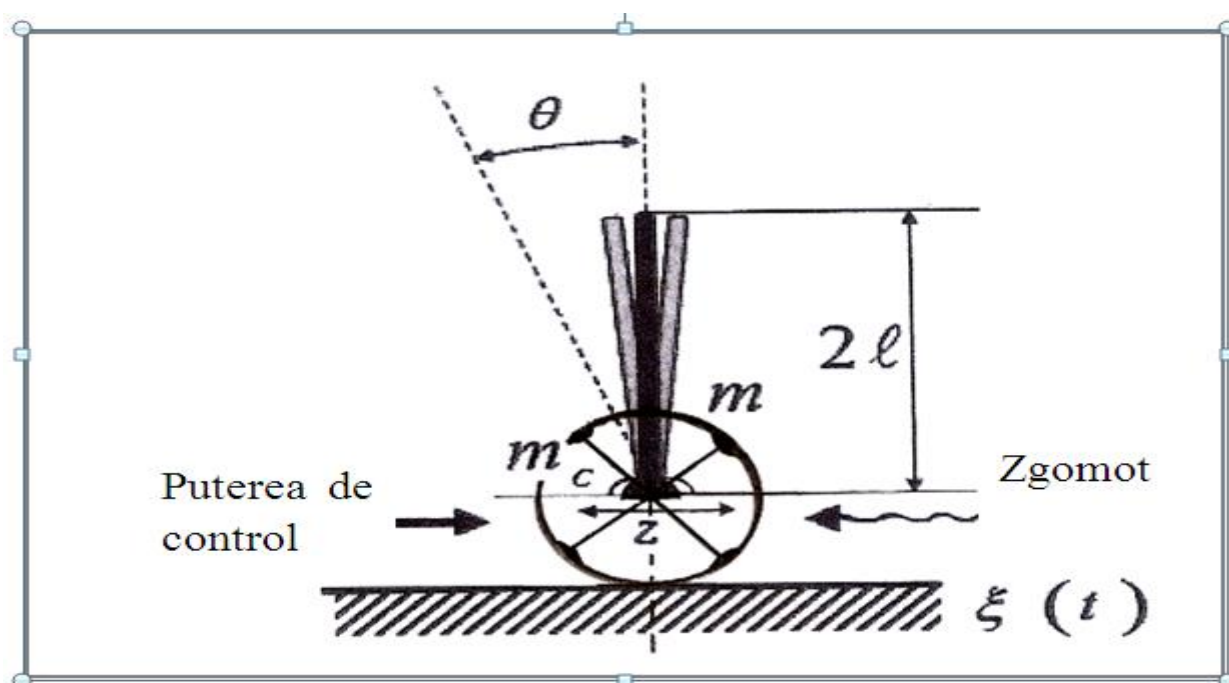


Fig. 5. Modelul sistemului "Cărucior – pendul"

Dinamica acestui OC instabil este descrisă de sistemul de ecuații diferențiale de a ordinea a

doua (1), derivabile, cu luarea în considerare a forțelor de frecare și elasticității căruciorului, din balanțul momentelor și a proiecțiilor puterilor pe osia orizontală Z:

$$\ddot{z} = \frac{u + \xi(t) - a_1 \dot{z} - a_2 z + ml(\dot{\theta}^2 \sin \theta \cos \theta)}{m_{\tilde{n}} + m},$$

$$\ddot{\theta} = \frac{g \sin \theta + \cos \theta \left(\frac{u + \xi(t) + a_1 \dot{z} + a_2 z - ml \dot{\theta}^2 \sin \theta}{m_{\tilde{n}} + m} \right) - k \dot{\theta}}{l \left(\frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 \theta}{m_{\tilde{n}} + m} \right)} \quad (1)$$

Ecuția pentru viteza producerii entropiei, este următoarea:

$$\dot{S}_{\theta} = \frac{k \dot{\theta}^2 + 1/2 ml \dot{\theta}^3 \sin 2\theta}{l(m_c + m) \left[\frac{4}{3} - \frac{m \cos^2 \theta}{m_c + m} \right]}; \quad \dot{S}_z = \frac{a_1}{m_c + m} \cdot \dot{z}^2; \quad \dot{S}_u = k_d \dot{e}^2. \quad (2)$$

În ecuațiile (1) și (2) z și θ – generalizarea coordonatelor; g – accelerația căderii libere (9.8 m/sec^2), m_c – masa căruciorului, m – masa pendulului răsturnat (numit ”balansier”), l – jumătatea lungimii balansierului, k și a_1 coeficienții de frecare înzșicorespunzător, a_2 – puterea elasticității căruciorului, $\xi(t)$ – interacțiunile exterioare întâmplătoare (zgomot stocastic), iar u – puterea acțiunii de control.

Dinamica sistemului deține instabilitate dinamică global, în cazul absenței puterii de control are loc creșterea nelimitată a unghiului de înclinare, adică pendulul cade. Obiectivul controlului unui asemenea sistem constă în faptul că, acționând asupra căruciorului cu ajutorul puterii de control, să se obțină menținerea pendulului în poziție verticală (unghiul înclinării osiei pendulului de la poziția verticală a se menține apropiat de 0).

Structura modelului de calculator ”Cărucior – pendul”, efectuat în mediul de modelare MatLab/Simulink, este prezentată pe fig. 6.

Modelul include în sine controlerul PID, zgomotele în sistemul de control și măsurare, și de asemenea blocul, care formează semnalul pentru controler. Acest model de calculator se folosește pentru obținerea semnalului cercetat și setările BC cu folosirea OBC.

În conformitate cu schema de control vom folosi controlerul PID în conturul feedback-ului negativ inteligent global și următoarea expresie pentru calcularea acțiunii de control:

$$u(t) = k_p(t)e(t) + k_I(t) \int_0^t e(\tau) d\tau + k_D(t)\dot{e}(t) \quad (3)$$

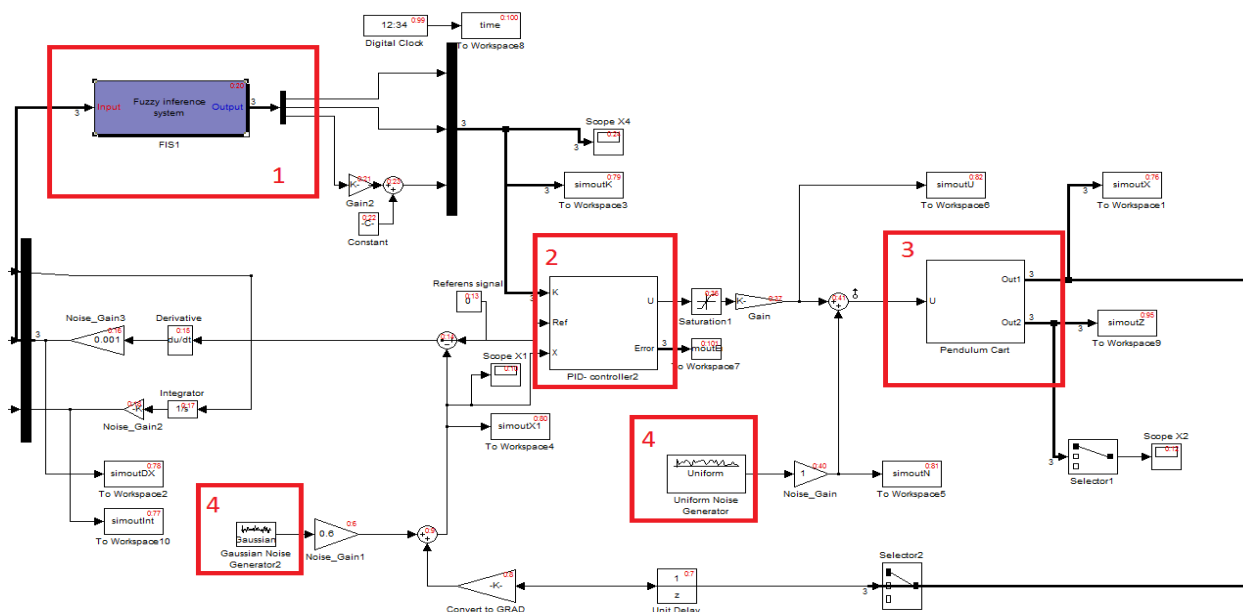


Fig. 6. Structura sistemului de modelare: 1 –blocul deducției fuzzy; 2 – controler PID; 3 – obiectul controlului; 4 –generatori de zgomote

La ora actuală această lege de control răspândită pe larg, este folosită în contururile de control cu feedback negativ în mai mult de 78% de aparate tehnice în producție și uz casnic.

Pentru compararea robusteții sistemelor de control s-au utilizat situații de control imprevizibile. Situațiile s-au modelat prin prezența componentelor aleatoare (zgomot) în coeficientul de frecare al roții de suprafață și în canalul acțiunii de control, prezente în sistemul fizic, și printr-o întârziere în randamentul acțiunii de control. În calitate de un astfel de zgomot în experimentul fizic s-a folosit o acoperire specială, iar pentru modele s-au stabilit valorile funcționale relevante ale parametrilor.

Drept exemplu de aplicare practică a modelului elaborat a ICF pentru formarea proceselor de control a coeficienților de amplificare a controlerului fuzzy proporțional-integral-diferențiat (PID) s-au prezentat rezultatele modelării matematice și ale experimentului fizic realizat cu modelul, obținute într-una din situațiile de control imprevizibile (fig. 7, 8):

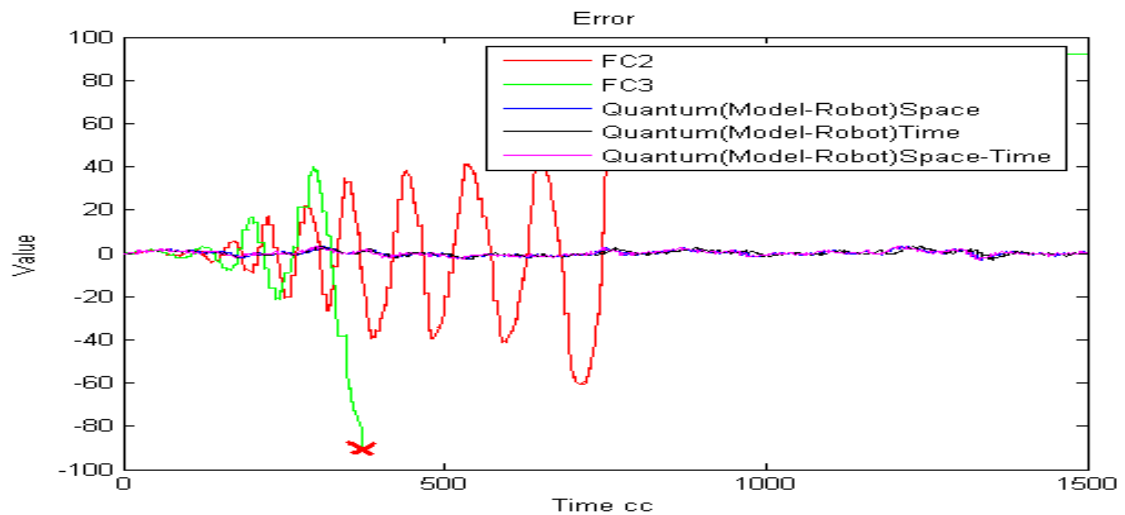


Fig. 7. Dinamica unghiul de deviere a modelului matematic. Situație de control imprevizibilă

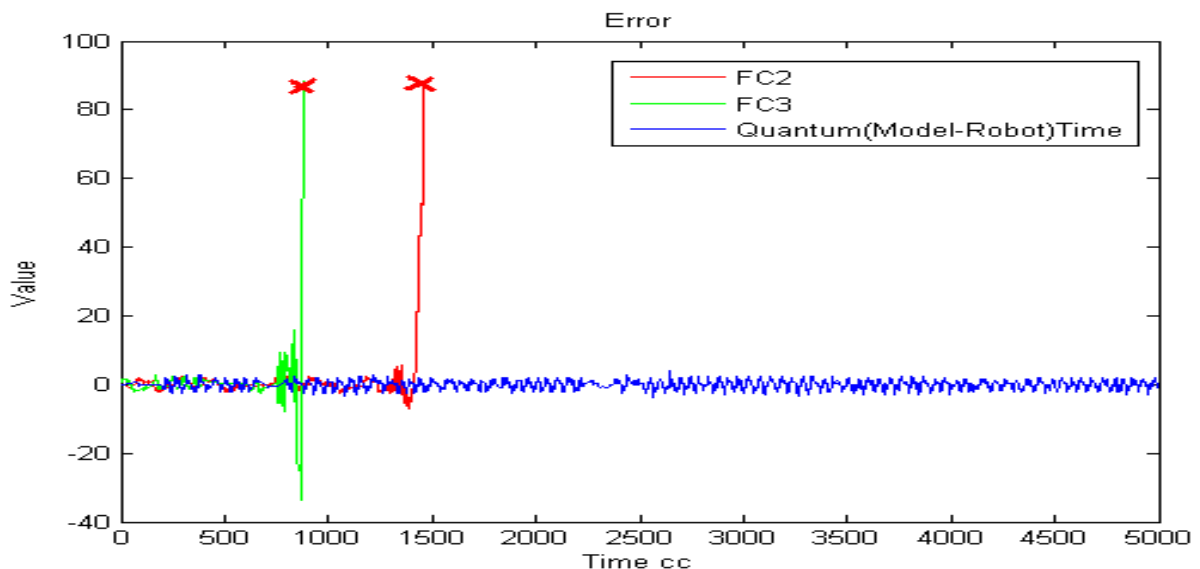


Fig. 8. Dinamica unghiul de deviere a machetei în experiment pentru situația de control imprevizibilă. Regulator fuzzy pe bază de semnal de instruire de la model și machetă, și ICF pe baza acestor regulatoare

Experimentele și modelările realizate au arătat că, controlul inteligent permite în situații de control imprevizibile atingerea garantată a obiectivului de control cu un consum minim de resurse, care, în esență, reflectă la nivel de conținut definiția activității premeditate a SIC.

În lucrare s-a demonstrat existența situațiilor de control imprevizibile, în care controlerul fuzzy nu posedă calitatea necesară de robustețe, iar controlerul fuzzy cuantic (pe baza controlerului fuzzy) face față sarcinii de control la nivelul necesar al calității de control, ceea ce confirmă realizarea principiului de autoorganizare a bazelor de cunoștințe din contul utilizării algoritmului ICF.

În capitolul 3 sunt expuse rezultatele unor obiective practice, realizate după program, care

relizează tehnologiile informaționale susmenționate. A fost efectuată o serie de experimente cu aplicarea, atât a modelului matematic, cât și a obiectului de control real (machetei) în situații de control tipice și neobișnuite. Este prezentat algoritmul validării modelului matematic a obiectului de control cu parametri nedefiniți până la capăt pe baza algoritmului genetic și a semnalului fizic de la obiectul real de control, care permite extragerea cunoștințelor din semnalul măsurat fizic, excluzând subiectivismul expertului la formarea bazelor de cunoștințe.

Tehnologia de proiectare a controlerului fuzzy elaborată pe baza metodei de validare a permis proiectarea sistemelor inteligente de control fără folosirea modelului matematic tradițional a obiectului de control.

Rezultatele modelării și experienței au demonstrat posibilitatea creșterii fiabilității sistemului intelectual de control integrat autonom în situații anormale și neobișnuite datorită folosirii resurselor suplimentare a calculelor cuantice.

Rezultatele modelării și a expuse au demonstrat, că metodologia elaborată de unire a strategiilor de control, care este integrată în optimizator la calculele cuantice, permite rezolvarea eficace a obiectivelor de control chiar și în cazul condițiilor extreme, în care controlerii fuzzy pe bază de deducție cuantică fuzzy nu fac față cerințelor de control.

CONCLUZII PRINCIPALE ȘI RECOMANDĂRI

Rezultatele științifice și practice principale, constau în:

- a fost dezvoltată tehnologia de proiectare a sistemelor inteligente de control pe baza calculelor soft și cuantice, care poate fi folosită și pentru sistemele inteligente de control în cadrul roboților autonomi;
- a fost elaborat algoritmul genetic multicriterial pentru proiectarea bazelor de cunoștințe a controlerilor fuzzy integrați destinați sistemelor de control autonome;
- a fost propusă o metodă nouă de validare matematică a modelului obiectului de control cu parametri nedefiniți până la capăt pe baza algoritmului genetic și al semnalului fizic de pe obiectul de control real, care permite folosirea resursei informaționale suplimentare pentru formarea semnalului cercetat la proiectarea controlerilor fuzzy și a celor cuantici;
- pe baza metodei de validare propuse și a algoritmului genetic multicriterial, a fost elaborată tehnologia informațională de proiectare a controlerului fuzzy;
- a fost elaborată tehnologia de proiectare a controlerului fuzzy pe baza semnalului măsurat fizic și a optimizatorului bazei de cunoștințe la calculele soft, care în mod considerabil elimină subiectivismul la formarea bazei de cunoștințe și permite proiectarea sistemelor inteligente de control fără folosirea modelelor tradiționale matematice a modelului obiectului de control.

- a fost dezvoltat produsul de software, care este baza primei etape a tehnologiei de proiectare a sistemelor inteligente de control autoorganizatoare, baza căruia este algoritmul genetic multicriterial elaborat și metoda de formare a semnalului studiat de pe obiectul de control real;
- a fost elaborat modelul deducției cuantice fuzzy, care permite introducerea principiului autoorganizării bazelor de cunoștințe în procesul de proiectare a sistemelor inteligente de control;
- pe baza modelului de algoritm cuantic elaborat, a fost realizat produsul de software, care permite proiectarea celulei algoritmice cuantice destinate sistemului intelectual de control a roboților autonomi;
- folosirea controlerilor intelectuali pe baza tehnologiei de proiectare prezentate se recomandă pentru creșterea robusteții la controlul obiectelor de control autonome, slab formalizate și slab structurizate, în situații anormale și neobișnuite;
- pe baza experimentelor efectuate cu modelul matematic și macheta naturală și obiectul de control pot fi trase următoarele concluzii:
 - a fost stabilit gradul de influență a selectării genului de calcule inteligente la nivelul robusteții sistemului de control;
 - a fost prezentat și confirmat experimental și teoretic existența efectului sinergetic a autoorganizării în procesul de formare robustă a bazei de cunoștințe din bazele de cunoștințe proiectate nerobuste, fapt care certifică despre apariția unei resurse informaționale suplimentare în baza de cunoștințe a sistemelor inteligente de control, bazată pe extragerea informației cuantice în stările clasice;
 - a fost demonstrată eficiența algoritmului cuantic de control a bazelor de cunoștințe robuste autoorganizate în condițiile situațiilor neobișnuite de control ca o nouă direcție în teoria de control.
 - a fost prezentată posibilitatea realizării tipurilor cuantice de calcul pe procesorul clasic, care permite introducerea capacității de autoorganizare a controlerilor fuzzy în structura sistemului intelectual de control;
 - a fost prezentat că realizarea tipurilor cuantice de calcul pe procesorul clasic permite introducerea capacității de autoorganizare a controlerilor fuzzy în structura sistemului intelectual de control.
- complexul de software realizat are importanță independentă, ca mijloc de elaborare a sistemelor intelectuale de control pe baza calculelor soft și cuantice, și se potrivește pentru rezolvarea obiectivului de funcționare a sistemului de control în situații anormale și neobișnuite de control;

- complexul de software de asemenea poate fi recomandat pentru susținerea lucrărilor de laborator la specialitatea ”sisteme de control”, ”robototehnică”, ”sisteme inteligente informaționale”.

BIBLIOGRAFIE

1. Ульянов, С. В. и др. Интеллектуальное робастное управление: Технологии мягких вычислений, М.: ВНИИгеосистем, 2011. 408 стр.
2. Литвинцева Л.В., Ульянов С.В., Ульянов С.С. Проектирование робастных баз знаний нечетких регуляторов для интеллектуального управления существенно-нелинейными динамическими системами. I, Изв. РАН. ТиСУ, 2006, № 5. стр. 102 – 141.
3. Литвинцева Л.В., Ульянов С.В., Ульянов С.С. Квантовый нечеткий вывод для создания баз знаний в робастных интеллектуальных регуляторах. Изв. РАН, ТиСУ, 2007, № 6. стр. 71 – 126.
4. Литвинцева Л.В., Ульянов С.В. Интеллектуальные системы управления. I. Квантовые вычисления и алгоритм самоорганизации. Изв. РАН, ТиСУ, 2009, № 6, стр. 69 – 97.
5. Решетников А.Г. Робастное интеллектуальное управление динамически неустойчивым объектом управления, Тринадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту, Труды конференции. Том 4, г. Белгород, 2012. стр. 1100 - 1111
6. Ульянов С. В., Решетников А. Г., Шоланов К. С. Робастное интеллектуальное управление физическим динамически неустойчивым объектом управления «Каретка – перевернутый маятник». Ч.2: Технологии квантовых вычислений, «Системный анализ в науке и образовании» - электронный научный журнал, 2013. №1. <http://sanse.ru/download/155>, (дата посещения 30.11.2015).
7. Ульянов С.В., Решетников А.Г. и др. Информационная технология проектирования баз знаний нечетких регуляторов. Ч.3: Квантовый нечеткий вывод и квантовая информация, "Системный анализ в науке и образовании", №4, 2010. <http://sanse.ru/download/69>, (дата посещения 30.11.2015).
8. Ульянов С.В., Решетников А.Г., Решетников Г.П. Технологии интеллектуальных вычислений: Квантовые вычисления и квантовое программирование в самоорганизующихся интеллектуальных системах управления. Дубна: ОИЯИ 2015, 246 стр.

ADNOTARE

la teza ”Proiectarea controlului inteligent bazat pe calcul cuantic și soft computing al robotului autonom”.

prezentată de către Andrei Reșetnicov pentru conferirea gradului științific de doctor în informatică la specialitatea 122.03 – Modelare, metode matematice, produse program.

Teza a fost elaborată în Laboratorul Sisteme inteligente de control al Institutului de analiză și management de la Universitatea din Dubna (Federația Rusă) și Laboratorul ”Sisteme informatice” al Institutului de Matematică și Informatică al Academiei de științe a Republicii Moldova.

Structura tezei: teza este scrisă în limba rusă și constă din introducere, 3 capitole, 3 anexe, 60 de desene, 8 tabele, concluzii și recomandări și 152 titluri bibliografice. Textul tezei conține 121 de pagini. Rezultatele obținute sunt publicate în 15 lucrări științifice.

Cuvinte cheie: modelare matematică, instrumente software, control inteligent, soft computing, cuantic computing, deducție cuantică fuzzy, controler cuantic fuzzy, logica fuzzy, algoritmi genetici.

Domeniul de studiu: sisteme inteligente de control ce funcționează în situații de urgență și imprevizibile în baza calculului cuantic și soft computing,

Obiectivele cercetării: dezvoltarea metodelor de suport algoritmic și de program al procesului de proiectare a sistemelor inteligente de control.

Noutatea și originalitatea științifică: a fost elaborată o metodă de îmbunătățire a robusteții sistemelor inteligente de control bazat pe aplicarea deducției cuantice fuzzy, ce formează un efect de autoorganizare sinergetică a bazei de cunoștințe în timp real.

Semnificația teoretică: s-a arătat că algoritmul cuantic de autoorganizare a cunoștințelor propus permite de a extrage informația cuantică ascunsă, din stările clasice ale bazelor de cunoștințe și de a forma un efect sinergetic de autoorganizare ale bazelor de cunoștințe în sisteme inteligente de control robuste.

A fost rezolvată problema științifică importantă: s-a propus o tehnologie de proiectare a algoritmilor celulelor cuantice în sistemele inteligente de control pentru sporirea robusteții funcționării lor în situații imprevizibile și de urgență.

Valoarea aplicativă a lucrării: metoda de proiectare a sistemelor inteligente de control în baza deducției cuantice fuzzy permite atingerea obiectivelor în situații imprevizibile, în care metodele clasice nu fac față.

Rezultatele cercetării pot fi aplicate pentru a asigura funcționarea durabilă a unor sisteme inteligente de control ce funcționează în situații imprevizibile și de urgență.

АННОТАЦИЯ

диссертации Решетникова Андрея Геннадьевича

«Проектирование интеллектуального управления на основе мягких и квантовых вычислений автономным роботом»

представленной на соискание ученой степени доктора информатики по специальности 122.03 – Моделирование, математические методы и программное обеспечение. Работа выполнена в Институте системного анализа и управления Государственного университета «Дубна» РФ и Лаборатории информационных систем Института математики и информатики Академии наук Республики Молдова.

Структура работы: диссертация написана на русском языке и состоит из введения, 3 глав, 3 приложений, 60 рисунков, 8 таблиц, выводов, рекомендаций и списка литературы из 152 наименований. Объем работы составляет 147 страниц, из них 121 страницы основного текста. Результаты диссертации опубликованы в 15 научных публикациях.

Ключевые слова: математическое моделирование, программный инструментарий, интеллектуальное управление, мягкие вычисления, квантовые вычисления, квантовый нечеткий вывод, квантовый нечеткий регулятор, нечеткая логика, генетический алгоритм.

Область исследования: интеллектуальные системы управления, функционирующие в нештатных и непредвиденных ситуациях управления на мягких и квантовых вычислениях.

Цель исследования: развитие методов программно-алгоритмической поддержки процесса проектирования интеллектуальных систем управления.

Научная новизна: разработан метод повышения робастности интеллектуальных систем управления на основе применения квантового нечеткого вывода, формирующего синергетический эффект самоорганизации баз знаний в режиме реального времени.

Решена важная научная проблема: предложена технология проектирования квантовых алгоритмических ячеек в интеллектуальных системах управления для повышения робастности функционирования в нештатных и непредвиденных ситуациях управления.

Теоретическая значимость: показано, что предложенный квантовый алгоритм самоорганизации знаний позволяет извлекать скрытую квантовую информацию из классических состояний баз знаний и формировать синергетический эффект самоорганизации БЗ в робастных интеллектуальных системах управления.

Практическая ценность: метод проектирования интеллектуальной системы на основе квантового нечеткого вывода позволяет достигать цели управления в нештатных ситуациях управления, в которой классические системы управления не справляются.

Результаты исследования могут быть использованы для обеспечения устойчивого функционирования объектов управления в нештатных ситуациях управления.

ABSTRACT

**of the thesis for a doctor's degree performed by Andrey Reshetnikov
"Design of intelligent control based on soft and quantum computing
of autonomous robot"**

Thesis is submitted for the degree of doctor of Informatics, speciality 122.03 – Modelling, mathematical methods and software. The work is performed in the Laboratory of intelligent control systems of the Institute of system analysis and control of the Dubna University and the Laboratory of information systems in the Institute of mathematics and computer science of Academy of Sciences of Moldova.

Structure: the thesis is written in Russian and consists of introduction, 3 chapters, 3 applications, 60 figures, 8 tables, main summary, recommendations and references which include 152 items. The main text of the dissertation is set forth on 121 pages. The results of the thesis have been published in 15 scientific publications.

Keywords: software tools, intelligent control, soft computing, quantum computing, quantum fuzzy inference, the quantum fuzzy controller, fuzzy logic, genetic algorithm.

Area of research: intelligent control systems, emergency and unpredicted situations of control, quantum soft computing.

Goal of research: development of methods for algorithmic and software support of the process of modeling and designing of robust intelligent control systems

Scientific novelty: A new method is proposed for improving the robustness of intelligent control systems on the basis of application of quantum fuzzy inference, forming a synergetic effect of self-organization of knowledge bases in real-time

An important scientific problem is solved: the thesis proposes a design technology of quantum algorithmically cells of intelligent control systems that contributes to robustness improvement of the behavior of dynamically unstable object in unpredicted and emergency control situation.

Theoretical significance: it is shown that the proposed quantum algorithm of knowledge self-organization allows extracting hidden quantum information from classical states of knowledge bases and generating synergetic effect of self-organization in KB of robust intelligent control systems.

Practical value: the developed design method of intelligent control systems based on quantum fuzzy inference enables achieving the control objects in emergency control situations, in which classical control systems do not accomplishing goal of control.

Results implementation: The research results can be used to improve the functioning reliability of intelligent control systems in emergency and unpredicted situations.

PEACADEMIA DE ȘTIINTE A MOLDOVEI
INSTITUTUL DE MATEMATICĂ ȘI INFORMATICĂ

Cutitlu de manuscris

C.Z.U: 004.415.2

REȘETNIKOV ANDREI

**PROIECTAREA CONTROLULUI INTELIGENT BAZAT PE
CALCUL CUANTIC ȘI SOFT COMPUTINGAL ROBOTULUI
AUTONOM**

Autoreferatul tezei de doctor îninformatică

Aprobat spre tipar: _____

Formatul hărtiei 60 x 84 1/16

Hărtie ofset. Tipar ofset.

Tirajul ____ ex.

Coli de tipar: 1.6

Comanda № _____

Tipografia _____