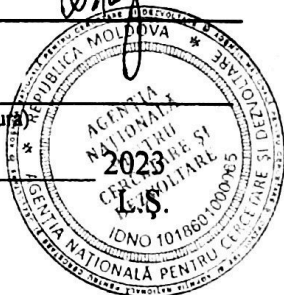


APROBAT
Agentia Națională pentru Cercetare și Dezvoltare

Director general _____

(semnătură)

“ ”



RAPORT ȘTIINȚIFIC ANUAL etapa 2023
privind executarea proiectului de cercetări științifice
Program de postdoctorat (2023-2024)

Universitatea Tehnică a Moldovei

Proiectul Modele și algoritmi de conducere și descriere
comportamentală a sistemelor interoperabile

Cifrul proiectului 22.00208.5007.12/PD I

Prioritatea Strategică Competitivitate economică și tehnologii inovative

termen de executare: 31 decembrie 2023

Directorul/Rectorul organizației

prof. univ., dr. hab Viorel BOSTAN

V. B

Consiliul Științific/Senat

dr. hab. Vasile TRONCIU

V. T

Conducătorul proiectului (postdoctorand)

dr. Irina COJUHARI

I. C



Chișinău 2023

AGENȚIA NAȚIONALĂ PENTRU
CERCETARE ȘI DEZVOLTARE
RECEPȚIONAT

" 18 " decembrie 2023

Nr. 554

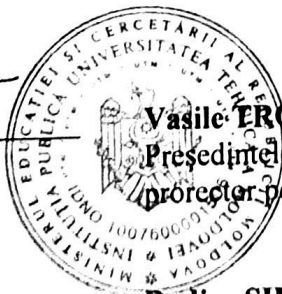
44

EXTRAS
din Procesul Verbal nr. 12
al ședinței Consiliului științific al UTM
din 15 decembrie 2023

Prezenți: 15 membri ai Consiliului științific al UTM – dr. hab., prof. univ. Tronciu Vasile, dr., conf. univ. Siminiuc Rodica, dr. hab., prof. univ. Bostan Viorel; dr. hab., prof. univ. Bugaian Larisa dr. hab., prof. univ. Stoicev Petru; dr. hab., prof. univ. Tatarov Pavel; dr. hab., prof. univ. Valeriu Dulgheru; dr. hab., prof. univ. Rusu Ion; dr. hab., prof. univ. Albu Svetlana; dr., prof. univ. Șonțea Victor; dr., conf. univ. Zaporozjan Sergiu, dr., conf. univ. Moraru Vasile, dr., conf. univ. Stratan Ion, doctorandă Railean Daniela.

S-au discutat: Audierea rezultatelor științifice obținute pe parcursul anului 2023 în cadrul proiectului 22.00208.5007.12/PD I “**Modele și algoritmi de conducere și descriere comportamentală a sistemelor interoperabile**”, director de proiect, dr., conf. univ. . **Irina COJUHARI.**

S-a decis: A aproba rezultatele obținute pe parcursul anului 2022 în cadrul proiectului 22.00208.5007.12/PD I “**Modele și algoritmi de conducere și descriere comportamentală a sistemelor interoperabile**”, director de proiect, dr., conf. univ. . **Irina COJUHARI.**



Vasile TRONCIU, prof. univ., dr. hab.
Președintele Consiliului Științific al UTM,
profesor pentru cercetare și doctorat

Rodica SIMINIUC, conf. univ., dr.
Secretar al Consiliului Științific al UTM

1. Scopul și obiectivele propuse spre realizare în cadrul proiectului în anul 2023

În cadrul proiectării sistemelor de reglare automată una din problemele principale este sinteza algoritmilor de conducere. Soluționarea acestei probleme presupune cunoașterea modelului matematic de aproximare a dinamicii procesului industrial. În acest context, un interes sporit reprezintă metodele experimentale de identificare a modelelor matematice și algoritmi experimentali de acordare a reguletoarelor tipizate, care pot fi implementați ca proceduri de autoacordare pe microprocesor.

Obiectivele propuse spre realizare în anul 2023 constau în:

1. Dezvoltarea abordării de descriere, identificare și modelare a sistemelor automate stabile și instabile, cu timp mort și fără timp mort, cu astatism și fără astatism.
2. Sinteza algoritmilor de conducere în baza gradului maximal de stabilitate, pentru modele de obiecte cu inerție, modele de obiecte cu inerție și astatism, modele de obiecte instabile cu inerție.
3. Dezvoltarea procedurilor de acordare a reguletoarelor PID în funcție de timpul de reglare și gradul de oscilație impus sistemului automat.
4. Dezvoltarea procedurii de sinteză on-line a reguletoarelor în baza performanțelor impuse sistemului automat.

2. Etapele în anul 2023

1. Definierea și descrierea sistemelor interoperabile.
2. Modelarea comportamentală a sistemelor interoperabile.

3. Acțiunile planificate pentru realizarea scopului și obiectivelor

1. Elaborarea și dezvoltarea abordării de control și identificare bazat pe date (data-driven control).
2. Dezvoltarea abordării de descriere și modelare a sistemelor interoperabile.
3. Dezvoltarea metodologiei de simulare comportamentală a sistemelor discrete.
4. Simularea comportamentală a sistemelor discrete în baza teoriei automatelor finite și teoriei rețelelor Petri Colorate.

4. Acțiunile realizate pentru atingerea scopului și obiectivelor

1. Au fost dezvoltați algoritmi de identificare în bucla închisă a proceselor inerțiale, unde s-a propus proceduri de aproximare a procesului industrial cu modele de obiecte: cu inerție de ordinul unu și doi cu și fără timp mort. A fost propusă procedura de identificare în baza răspunsului sistemului automat închis oscilant amortizat.
2. A fost dezvoltat algoritmul de identificare a sistemelor instabile, unde algoritmul propus oferă posibilitate de a aproxima procese instabile cu modele de obiecte cu inerție de ordinul doi, un pol pozitiv cu și fără timp mort.
3. Au fost dezvoltați algoritmi analitici de acordare a reguletoarelor PD și PID pentru modele de obiecte cu inerție și astatism.
4. A fost dezvoltată procedurii de reglare PID pentru sisteme instabile, care asigură stabilitatea sistemelor automate.
5. A fost dezvoltată procedura de acordare a reguletoarelor tipizate în funcție de timpul de reglare impus sistemului și gradul de oscilație.

5. Rezultatele obținute

❖ Manuscrisul tezei este realizat în volum de 55 %

Cele mai relevante rezultate obținute în perioada de raportare sunt expuse mai jos:

Identificarea experimentală în buclă închisă în baza răspunsului oscilant amortizat a sistemului automat

A fost dezvoltat algoritmul de identificarea experimentală în bucla închisă, în baza răspunsului sistemului oscilant amortizat, care constă din următoarele etape:

1. Colectarea informației apriorice despre procesul de control.
2. Asigurarea structurii de control în bucla închisă cu regulatorul P.
3. Variația parametrului de acord $k_p > 0$ până se atinge un răspuns a sistemului automat oscilant amortizat.
4. Din răspunsul neamortizat se determină: perioada oscilațiilor – T_{cr} ; timp mort - τ ; coeficient de transfer – k .
5. Se calculează valoarea frecvenței naturale.
6. În baza expresiilor de calcul prezentate în Tabelul 1, se calculează parametrii funcției de transfer pentru modele de obiecte cu inerție de ordinul doi și modele de obiecte care aproximează procese instabile.

Tabelul 1. Expresii de calcul parametrilor obiectului de control.

Modelul de obiect	Funcția de transfer	Expresii de calcul
Modelul de obiect cu inerție de ordinul doi	$H(s) = \frac{k}{a_0 s^2 + a_1 s + a_2}$	$a_0 = \frac{k_{cr} k + 1}{\omega_n^2}$ $a_1 = \frac{2(k_{cr} k + 1)\xi}{\omega_n}$ $a_2 = 1.$
Modelul de obiect cu inerție de ordinul doi și un pol pozitiv	$H(s) = \frac{k}{a_0 s^2 + a_1 s - a_2}$	$a_0 = \frac{k_{cr} k - 1}{\omega_n^2}$ $a_1 = \frac{2(k_{cr} k - a_2)\xi}{\omega_n}$ $a_2 = 1$
Modelul de obiect cu inerție de ordinul doi, un pol pozitiv și timp mort	$H(s) = \frac{k e^{-\tau s}}{a_0 s^2 + a_1 s - a_2}$	$a_0 = \frac{k k_{cr} \cos \tau \omega_n - a_2}{\omega_n^2}$ $a_1 = \frac{2\zeta \tau (k k_{cr} \cos \tau \omega_n - a_2)}{\omega_n}$ $a_2 = 1$

Pentru verificare algoritmului de identificare a proceselor instabile a fost propus că obiectul de reglare să fie descris de funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{2 e^{-3s}}{(10s - 1)(2s + 1)} = \frac{2 e^{-3s}}{20s^2 + 8s - 1} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

Sistemul automat a fost simulat cu regulatorul P și variind parametrul de acord k_p a fost obținut răspuns oscilant amortizat prezentat în figura 1, pentru valoarea parametrului de acord $k_p=0.8$.

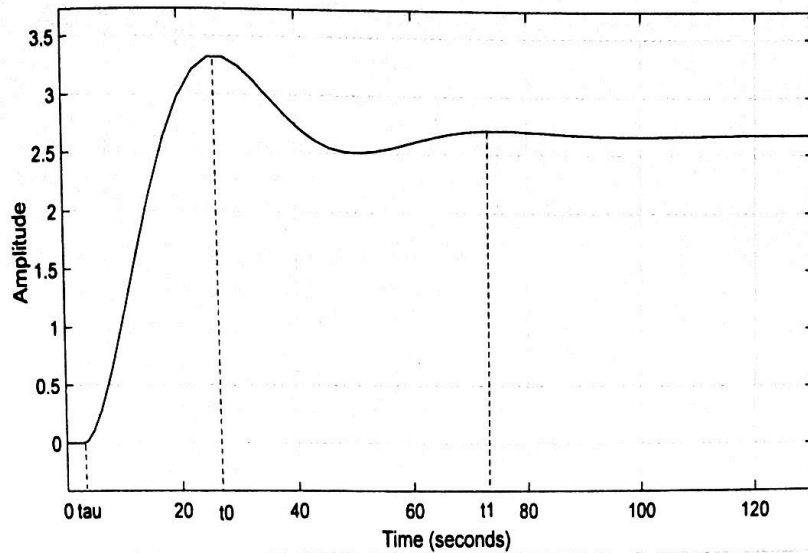


Fig. 1. Răspunsul sistemului automat închis cu regulatorul P.

Din figura 1, a fost calculată perioada oscilațiilor $T_0 = 45.47$ s. coeficient de amortizare: $\xi=0.4075$, în continuare s-a calculat valoarea frecvenței naturale $\omega_n = 0.1513$, timp mort $\tau=3$ și valoarea coeficientului de transfer $k=2$.

În baza expresiilor de calcul prezentate în Tabelul 1 pentru calcul funcției de transfer cu inerție de ordinul doi, cu un pol pozitiv și timp mort s-a obținut funcția de transfer:

$$H(s) = \frac{2 e^{-3s}}{19.1336s^2 + 9.696s - 1}$$

Astfel modelul calculat obținut aproximează obiectul de control original cu o precizie de 88.7%.

Procedura de acordare a regulatorului PID cu timpul de reglare impus

Se consideră ca obiectul de reglare este descris de următoarea funcție de transfer:

$$H_F(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)} = \frac{k}{a_0s^2 + a_1s + a_2} \quad (1)$$

unde k este coeficient de transfer; T_1, T_2 – constantele de timp; a_0, a_1, a_2 – parametrii obiectului de control.

În funcție de timpul de reglare t_s impus sistemului automat s-au obținut expresii de calcul a parametrilor de acord:

$$k_p = \frac{4 \cdot a_1}{k \cdot t_s} \quad (2)$$

$$k_i = \frac{4}{k \cdot t_s} \quad (3)$$

$$k_d = \frac{4 \cdot a_0}{k \cdot t_s} \quad (4)$$

Rezultate obținute au fost verificate pentru modelul de obiect:

$$H(s) = \frac{1}{10s^2 + 2s + 1} = \frac{B(s)}{A(s)}$$

În Tabelul 2 sunt prezentate rezultatele acordării pentru diferite valori impuse a timpului de reglare

Table 2. Parametrii de acord a regulatorului PID.

Nr. crt.	Tipul de reglare impus, s.	k_p	k_i	k_d	$t_s, s.$	$t_r, s.$	$\sigma, \%$
1	-	0.2	0.1	1	39.143	39.143	-
2	10	0.8	0.4	4	9.86	9.86	-
3	20	0.4	0.2	2	19.68	19.68	-
4	60	0.133	0.0667	0.667	59.86	59.86	-

În figura 2 sunt prezentate procese tranzitorii obținute, numerotarea curbelor coincide cu numerotarea din Tabelul 2.

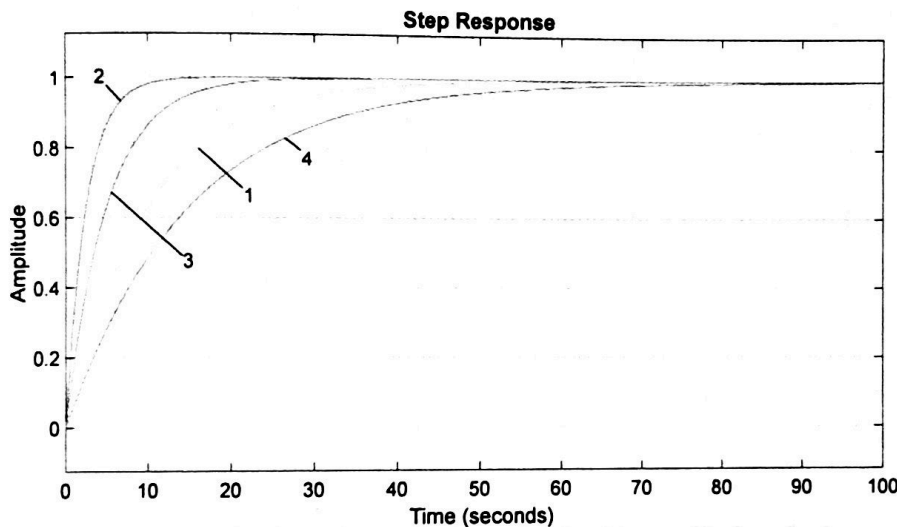


Fig. 2. Procese tranzitorii SA cu regulatorul PID cu timpul de reglare impus.

Procedura de acordare a regulatorului PID cu gradul de oscilație impus

Se consideră ca obiectul de reglare este descris de următoarea funcție de transfer:

$$H(s) = \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)(T_3s+1)} = \frac{k}{a_0s^3+a_1s^2+a_2s+a_3} = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (5)$$

unde k este coeficient de transfer; T_1, T_2, T_3 – constantele de timp; a_0, a_1, a_2, a_3 – parametrii obiectului de control.

În funcție de gradul de oscilație impus sistemului automat s-au obținut expresii de calcul a parametrilor de acord:

$$\begin{cases} k_p = \frac{(a_1 - a_3)}{2a_0} k_d; \\ k_i = \frac{2a_3}{(a_1 + a_3)} k_d; \\ k_d = \frac{3a_1^2 - 8a_0a_2}{8ka_0} + 12a_0\omega^2. \end{cases}$$

6. Publicațiile la tema tezei de DH

1. COJUHARI, I. *Data-driven inertial process identification and control. Monografie.* Chisinau: Bons Offices, 151 p. ISBN 978-5-36241-112-1.

2. COJUHARI, I. Data-Driven Model Identification and Control of the Inertial Systems. In: *Intelligent Control and Automation*, 14, 2023, pp. 1-18. doi: [10.4236/ica.2023.141001](https://doi.org/10.4236/ica.2023.141001).
3. COJUHARI, I. Closed-Loop System Identification Approach of the Inertial Models. In: *Applied Mathematics*, 14, 2023, pp. 107-120. doi: [10.4236/am.2023.142006](https://doi.org/10.4236/am.2023.142006).
4. COJUHARI, I. Control-Relevant Identification of the Unstable Inertial Systems. In: *International Journal of Numerical Methods for Calculation and Design in Engineering (RIMNI)* (în proces de recenzare) (IF 0.1).
5. COJUHARI, I. Data-Driven Control of the Second Order Inertial Systems with Astatism. In: *Journal Annals of the University of Craiova - Electrical Engineering Series* (în proces de recenzare).
6. COJUHARI, I. A PID Tuning Approach for Inertial Systems Performance Optimization. In: *Applied Mathematics* (acceptat spre publicare).
7. FIODOROV, I.; COJUHARI I.; IZVOREANU, B.; POPOVICI, N.; MORARU, D. Hybrid Fuzzy-PID Controller with Auto-Tuning According to the Stability Degree of the System. In: *Proceedings of the 23rd International Conference on Control Systems and Computer Science (CSCS23)*, 26-28 mai, 2023, București, Romania, pp. 22-27. doi: [10.1109/CSCS59211.2023.00013](https://doi.org/10.1109/CSCS59211.2023.00013).
8. COJUHARI I. Data-Driven Control of the Second Order Inertial Systems with Astatism. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)-2023*, Chișinău, 12-13 october 2023, pp. 1-4. doi: [10.1109/SIELMEN59038.2023.10290771](https://doi.org/10.1109/SIELMEN59038.2023.10290771).
9. COJUHARI, I. Closed-loop model estimation of the underdamped second order inertial systems. In: *e-Book of abstracts of the 30th Conference on Applied and Industrial Mathematics*, Iași, România, 14-17 September, 2023, pp. 35-56. ISSN 2537-2688

7. Protecția rezultatelor obținute în formă de obiecte de proprietate intelectuală
Nu sunt

8. Diseminarea rezultatelor proiectului

1. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 2022 International Conference on Development and Application Systems (DAS), Suceava, România, 26-28 mai 2022; Synthesis of PID Algorithm for Speed Control of the DC Motor. (comunicare)
2. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 14th International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN)-2023, Chișinău, 12-13 october 2023; Data-Driven Control of the Second Order Inertial Systems with Astatism. (comunicare)
3. COJUHARI, I. conf. univ., dr.; The 30th Conference on Applied and Industrial Mathematics, 14-17 September, 2023, Iași, România; Closed-loop model estimation of the underdamped second order inertial systems. (comunicare)

9. Concluzii în limba română și engleză.

Pe parcursul perioadei de raportare a fost dezvoltată procedura de identificarea experimentală a sistemelor inerțiale instabile, unde obiectul de reglare s-a propus a fi aproximat cu modele de obiecte cu inerție de ordinul doi și un pol pozitiv, cu sau fără timp mort. Procedura de identificare permite de a obține modelul matematic în bucla închisă a sistemului automat cu regulator P și pe baza răspunsului oscilant amortizat se extrag datele referitor la perioada oscilațiilor, coeficientul de acord critic, coeficient de transfer, timp mort. În baza acestor valori

extrase din răspunsul sistemului automat se determină funcția de transfer care aproximează procesul industrial.

A fost sintetizat algoritmul de reglare pentru modele de obiecte cu inerție și astatism cu sau fără timp mort, care reprezintă niște expresii simple de calcul în funcție de parametrii obiectului de reglare. Au fost dezvoltati algoritmi de reglare PID pentru modele de obiecte instabile cu inerție de ordinul doi cu sau fără timp mort în baza metodei gradului maximal de stabilitate cu iterații.

Au fost dezvoltate două abordări pentru sinteza regulatorului PID, care permit optimizarea performanțelor sistemului automat. Prima abordare de acordare a regulatorului la modele de obiecte cu inerție de ordinul doi permite impunerea tipului de reglare, asigurând funcționarea sistemului fără suprareglaj. Această metodă a fost dezvoltată pe baza criteriului gradului maximal de stabilitate, asigurând gradul optim de stabilitate a sistemului. Metoda propusă a fost verificată prin simulare pe calculator pentru cazul acordării regulatorului PID cu diferite valori impuse ale tipului de reglare, demonstrând rezultate bune și o precizie înaltă în asigurarea performanțelor impuse. O altă abordare pentru acordarea regulatorului PID permite variația procentului de suprareglaj. Rezultatele obținute au fost verificate prin simulare pe calculator pentru acordarea regulatorului PID la modelul de obiect cu inerție de ordinul trei, oferind controlul gradului de oscilanță al sistemului.

Throughout the reporting period, the experimental identification procedure of unstable inertial systems has been developed, where the control object was proposed to be approximated with second-order inertial models, one positive pole, with or without time delay. The identification procedure allows obtaining the mathematical model in the closed-loop of the automatic control system with a P controller, and based on the underdamped oscillatory response, data regarding the oscillation period, critical gain coefficient, transfer coefficient, and time delay are extracted. Based on these values obtained from the automatic control system response, the transfer function that approximated the industrial process is determined.

A control algorithm has been synthesized for models of objects with inertia and astatism, with or without time delay, which representing a simple calculation expressions depending on the control object parameters. PID control algorithms have been synthesized for unstable systems described by transfer functions with inertia second-order, one positive pole, with or without time delay based on the maximum stability degree method.

Two approaches for synthesis the PID controller were developed, that offer the system performance optimization.

The first approach of tuning PID controllers to the second-order inertial models, allows the imposition of a settling time on the automatic control system, ensuring that the system operates without overshoot. This method was developed based on the maximum stability degree criterion, providing the optimal stability degree for the system. The proposed method was verified through computer simulation for the case of tuning the PID controller with different imposed values of settling time and it demonstrated good results and high precision in performance ensuring.

Another approach to tuning the PID controller allows the variation of the overshoot percent. The obtained results were verified by computer simulation for the case of tuning the PID controller to the model of object with inertia third order, so as this method permits to control the oscillation degree of the system.

Conducătorul proiectului Cojilari Y. Conf. Univ. dr.
(nume, prenume, grad, titlu științific)

[Signature]
(semnătura)

DEVIZUL DE CHELTUIELI PE ANUL 2023

Denumirea codurilor economice	Codul economic	Total	Inclusiv	
			Buget (resurse generale), mii lei	Cofinanțare mii lei
Burse de studii a studenților autohtoni	281211	104,6	104,6	
Deplasări de serviciu în interiorul țării	222710			
Deplasări de serviciu peste hotare	222720			
Servicii de editare	222910			
Servicii neatribuite altor aliniate	222990	35,4	35,4	
Cheltuieli curente neatribuite la alte categorii	281900			
Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri	335110			
Procurarea altor materiale	339110			
Total		140,0	140,0	

Rector U.T.M.

dr. hab. Viorel BOSTAN

(numele, prenumele)

(semnătura)

Contabil (economist)

Victoria IOVU

(numele, prenumele)

(semnătura)

Conducătorul proiectului
(postdoctorandul)

Dr. Irina COJUHARI

(numele, prenumele)

(semnătura)



NOTĂ:

- În Devizul de cheltuieli se includ doar cheltuielile referitoare la proiect.
- La codul economic 222910 Servicii de editare - nu se acceptă suma mai mare de 25,0 mii lei pentru editarea unei monografii și mai mare de 5,0 mii lei pentru alte tipuri de publicații, cu excepția articolelor științifice în reviste internaționale.
- La codul economic 222990 - pot fi incluse cheltuielile pentru abonamentele Zoom sau alți furnizori utilizați în cadrul evenimentelor.
- La codul economic 281900 - vor fi incluse cheltuieli pentru taxa de participare la conferințe.
- La codul economic 335110 Procurarea materialelor pentru scopuri didactice, științifice și alte scopuri - Se includ procurări de materiale doar științifice pentru realizarea cercetărilor strict la proiect. Nu se includ procurări de literatură, produse de igienă etc.

(Handwritten signature)

(Handwritten mark)