

DIMENSIONAREA SISTEMULUI DE BURARE REGLABIL CU CONTROL NUMERIC PENTRU APARATELE AUTOMATE DE CAFEA

Adrian ȚURCANU

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: *Lucrarea se referă la echipamentul pentru procesul de producție a cafelei de tip espresso și unele posibilități de a crește calitatea produsului finit prin implementarea unui proces de burat reglabil. În prezent, parametrii procesului de extracție sunt ajustate manual, iar variația factorilor externi schimbă calitatea boabelor de cafea. Punerea în aplicare a sistemului electromecanic reglabil cu motor de curent continuu și cu comandă numerică va permite sistemului să elimine erorile de reglare ale procesului de măcinare. Verificarea parametrilor calculați ai sistemului de reglare prin simulare pe calculator demonstrează funcționarea sistemului de antrenare propus al unității de extracție.*

Cuvinte cheie: *Aparat de cafea, unitate de preparare (extracție), actuator liniară, motor de curent continuu; control numeric.*

1. Introducere

Cafeaua este un produs cunoscut de secole și de la descoperirea sa de etiopieni în mijlocul secolului 15 și până în zilele noastre, oamenii au încercat diferite metode de prelucrare și preparare ale acesteia, iar a doua revoluție industrială din Italia de la sfârșitul secolului al XIX-lea a dat lumii una dintre cele mai populare metode de preparare ale cafelei cunoscute până în zilele noastre. Metoda de preparare cu percolare sub presiune a cafelei, de asemenea, cunoscut sub denumirea de espresso, s-au dovedit a fi cea mai rapidă metodă de preparare, care extrage cele mai multe dintre uleiurile și aroma din boabele de cafea în doar 25 de secunde. Există o multitudine de echipamente specializate în această industrie, dar odată cu introducerea unității de preparare de către Compania SAECO în 1986 [7], mașinile automatizate de preparare a cafelei au încercat să mimeze procesul de preparare care are loc în mașinile de cafea profesionale care necesită și personal calificat. Deoarece extracția de tip espresso implică controlul unui număr de parametri, care este o sarcină dificilă de la sine, în același timp instabilitatea și varietatea boabelor de cafea, fac acest lucru și mai dificil de efectuat. Din aceste motive, procesul tehnologic de extracție de tip espresso este simplificată și adaptată pentru mașina automată de cafea, care scade calitatea produsului final.

Scopul prezentei lucrări constă în dezvoltarea unui dispozitiv de acționare electromecanic pentru unitatea de infuzie a unei mașini automate de cafea, care va permite punerea în aplicare a controlului numeric a presiunii în camera de extracție astfel controlând debitul de extracție.

2. Particularități ale extracția de tip espresso

Forțat să livreze o cafea de înaltă calitate într-o perioadă de timp cât mai redusă, Luigi Bezzera a ajuns la o idee de extragere a cafelei sub presiune ridicată în mai puțin de 30 de secunde, iar după unele lucrări experimentale au fost conturate un șir de parametri exacti, care în cele din urmă au fost introduse ca standard espresso de către Institutul Național de Espresso al Italiei. Există diferite metode de extracție de extracție în mașini moderne de cafea care pot fi clasificate în trei grupe enumerate în continuare:

1. **Extracția cu portfiltrului fără menținerea presiune** - acest tip de portfiltrului nu au nici o supapă de evacuare în interiorul lor, care să permită controlul corespunzător al presiunea de 9 bar care este impus de către standard pentru extragerea espresso. Ajustările necesare sunt realizate cu finețea cafelei râșnite și nivelul presiunii de tasare. Acest tip necesită implicarea profesionalului calificat care este numit barista. În figura 1a este prezentat un astfel de portfiltru fără menținere a presiunii;
2. **Extracția cu portfiltru cu menținerea presiune** - acest tip de portfiltre (fig. 1 b) sunt utilizate în aparatele semi-automate de cafea și presiunea necesară este menținută cu un sistem cu arc, care este montat în interiorul acestuia, care permite trecerea lichidului prin camera de preparare doar după formarea presiunii impusă de caracteristicile mecanice ale arcului din portfiltru;

3. **Extracția cu unitatea de prepararea** – această metodă de extracție utilizează un modul de preparare care mimează toate etapele pe care un barista le efectuează, dar cu unele de modificări și simplificări care oferă posibilitatea de a automatiza procesul complet de preparare.

Prezenta lucrare se referă la metodele de extracție 1 și 3 și anume, atingerea gradului înalt al calității produsului finit obținut în metoda 1 cu echipamentul și tehnicile de extracție din metoda 3.

După cum s-a menționat anterior, procesul de extracție al băuturilor din cafea boabe trebuie realizat cu menținerea unor parametri care își au influența calității produsului finit. Totodată o important mare o are calitatea boabelor de cafea pentru procesul de producție. Calitatea lor este determinată de o serie de factori care influențează procesului de răsnire și, în consecință, asupra calității băuturii extrase. Acești factori sunt foarte numeroase și de natură diferită, iar unele dintre ele sunt:

- **Soiul de cafea** - există numeroase soiuri de cafea, care sunt de dimensiuni, mase, forme diferite și cu densitate variată, iar toate acestea duc la un comportament diferit în timpul răsuirii, și ca rezultat, a proceselor de percolare.
- **Nivelul de umiditate** – schimbarea nivelului umidității în boabele de cafea se răsfrânge asupra comportamentul lor în procesul de măcinare rezultând într-o abatere a fracției cafelei răsnite de la valoarea necesară.

Pentru a depăși aceste erori în procesul de extracție ajustarea ar trebui să se facă în mod automat. În lucrările anterioare a fost proiectat sistemul automat de reglare a răsuirii [12], dar din cauza principiului procesului de ajustare noile ajustări vin după câteva extracții cu parametrii vechi.

Aceste rețineri în reglaj pot fi compensată prin punerea în aplicare a procesului de burat reglabil automat cu control numeric.

3. Procesul de burare în extracția de tip espresso

Analizând multitudinea tipurilor de aparate de cafea prin prisma calității produsului finit, aceasta este cea mai înaltă la produsele obținute la aparatele la baza cărora stă portfiltru fără menținerea presiunii în camera de preparare. Procesul tehnologic de extracție de tip espresso în respectivele aparate include patru proceduri, care efectuate în mod corect dau în final un produs de cea mai înaltă calitate și aceste etape sunt după cum urmează:

- Măcinarea de boabe de cafea. Răsnița necesită a fi reglată adecvat pentru a da dimensiunea necesară a fracției cafelei măcinată;
- Nivelarea dozei de cafea măcinată în portfiltrului, astfel încât, după burarea acestea densitatea cafelei măcinate în filtru ar fi egal;
- Burarea dozei de cafea. Acest procedeu presupune utilizarea unei scule cilindrice care se potrivește perfect în coșul portfiltrului și compactarea cafelei pentru procesul de extracție. Obiectivul acestei etape este de obține o structură compactă și uniformă astfel încât apa să treacă uniform prin toate aria dozei de cafea fără ca să-și găsească parcurșuri cu o densitate mai redusă parcurșura căreia să rezulte într-o extracție incorectă [1].
- Procesul de extracție, care durează aproximativ 25 de secunde la 9 bari presiune a apei cu care este forțată prin coșul de filtrare cu cafea burată.

Metoda clasică de burare presupune o mișcare direcționată perpendicular în jos aplicând o forță de presarea de 20 kg. În procesul de preparare respectiva forță de presarea poate varia de la valoarea minimă de aproximativ 5kg până la o valoare maximă de până la 35 kg. Valoarea exactă a forței de presarea este decisă de către barist în funcție de mărimea fracției cafelei răsnite obținute din răsniță. În acest fel există posibilitatea de compensare a erorilor răsuirii. [1]

Producătorii aparatelor automate de cafea încearcă să mimeze procedeele procesului de producere utilizat în sistemele cu portfiltrele fără menținere a presiunii și au introdus un și de simplificări care au permis automatizarea întregului proces de extracție. Unele din simplificările operate este procesul de burare și controlul presiunii în camera de extracție. În aparatele menționate mai sus presiunea în camera de extracție este controlată de mărimea fracției cafelei răsnite și forța aplicată în procesul de burare, pe când în aparatele automatizate presiunea în cameră este controlat de un sistem mecanic pe bază de arc care și controlează respectiva presiune. În același timp procesul de burare utilizat în respectivele aparate nu este variabile ci mecanismul de acționare ale unităților de preparare sunt controlate de un șir de întrerupătoare de parcurs care controlează doar poziție mecanismului camerei de extracție și nu presiunea cu care acesta se închide.

În condițiile unui mediul înconjurător constant în care operează un aparat de cafea automat de acest gen respectivele simplificări ale procesului de producție nu au un impact asupra calității produsului finit prea mare cu condițiile când întregul sistem electromecanic este bine reglat și materia prime este păstrată așa condiții ca calitatea boabelor de cafea să rămână constată. În majoritatea cazurilor acest lucru nu este posibil din motivele

că respectiva materie primă (boabele de cafea) sunt foarte instabile și calitatea acestora este ușor influențată de variație umidității mediului înconjurător. Acest variație a calității boabelor împreună cu un sistem electromecanic fără controlul automatizat a respectivelor etape ale procesului de extracție au un impact negativ asupra procesului și ca rezultat asupra produsului finit.

Pentru sporirea calității produsului finit este necesară modernizarea sistemului de burare prin implementarea sistemului automatizat de burare cu control numeric prin intermediul unu actuator liniar, care împreună cu sistemul automat de ajustare a râșniței vor spori calitatea produsului finit eliminând necesitatea sistemelor mecanice adiționale de control a presiunii în camera de extracție.

4. Dimensionarea actuatorului liniar

Precum a fost menționat mai sus, implementarea procesului de burare variabil va permite eliminarea erorilor în procesul de producere. Pe lângă nivelul ridicat de ajustabilitatea a sistemului de acționare necesar, acest trebuie să fie ieftin, reversibil, mic, simplu și ușor de controlat. Un astfel de motorului este motor de curent continuu cu perie. Acest motor folosește periilor de contact pentru transmite curentul prin colector la rotor și un magnet permanent în calitate de stator. Acesta este cel mai ieftin și mai ușor în operare dintre toate motoarele enumerate anterior și, împreună cu un mecanism cu șurub de plumb și o cutie de viteze suplimentare pe arborele motorului ar putea deveni un sistem de înaltă performanță. [5, 6, 8] În continuare este prezentată dimensionarea respectivului sistem:

➤ Cerințele și datele inițiale

$m_l = 3kg$ - greutatea sarcinii;

$m_t = 20kg$ - masa medie de burare;

$S_l = 0,2m$ - distanța necesară de parcurs; burării;

$S_t = 0,008m$ - distanța parcursă în momentul

$t_m = 3s$ - timpul pentru parcurgerea distanței necesare;

$t_d = 25s$ - durata pauzei;

$\theta = 90^\circ$ - unghiul de poziționare al actuatorului;

$\Theta_a = 50^\circ C$ - temperatura mediului extern;

$d_s = 10mm$ - diametrul convertorului rotativ-liniar.

➤ Etapele de calcul

În tabelul 2 sunt prezentați pașii algoritmului de calcul pentru dimensionarea actuatorului liniar selectat.

Tabelul 2. Algoritmul de dimensionare al actuatorului liniar pe bază de șurub.

| PASUL | Operația | COMENTARIUL |
|-------|---|---|
| 1 | $p_l = \frac{v_{pk} \cdot 60 \cdot 1000}{\omega_{max}}$ | Pasul filetului necesar pentru menținerea vitezei unghiulare a șurubului de 1000 rot/min. |
| 2 | $\omega_{ls} = \frac{v_{pk} \cdot 60 \cdot 2\pi}{p_l \cdot 60}$ | Viteza unghiulară maximală a șurubului de antrenare; |
| 3 | $M_j = J_l \cdot \alpha$ | Cuplul necesar pentru depășirea momentului de inerție; |
| 4 | $M_f = \frac{\cos(\theta) \cdot m_l \cdot g \cdot \mu \cdot p_l}{2\pi \cdot \eta_s}$ | Cuplul necesar pentru depășirea forței de frecare; |
| 5 | $M_g = \frac{\sin(\theta) \cdot m_l \cdot g \cdot p_l}{2\pi \cdot \eta_s}$ | Cuplul necesar pentru depășirea gravitației; |
| 6 | $M_t = \frac{\cos(\theta) \cdot m_t \cdot g \cdot p_l}{2\pi \cdot \eta_s}$ | Cuplul necesar pentru procesul de burare; |
| 7 | $M_a = M_j + M_f + M_g$ | Cuplul total pentru depășirea momentului de inerție a sarcinii. |
| 8 | $M_{rms} = \frac{\sqrt{t_1 \cdot M_a + t_2 \cdot M_g + t_1 \cdot (-M_a) + t_t \cdot M_t}}{t_1 + t_2 + t_3 + t_t}$ | Calculul rădăcinii medii pătratice al cuplului de accelerație la arbore Unde: t_1 , t_2 și t_3 sunt timpii profilului de accelerație și decelerație trapezoidală pentru profilul de mișcare de tip 1/3-1/3-1/3 și t_t este timpul de burare. |
| 9 | $P_{pk} = (M_a + M_t) \cdot \omega_{pk}$ | Puterea maximală necesară. |
| 10 | $P_{avg} = \frac{(m_l + m_t) \cdot g \cdot S_l}{t_m + t_t}$ | Puterea medie necesară. |

Pentru prezentul actuator liniar cu antrenare prin șurub este selectat motorul de curent continuu cu perii produs de DYNETIC SYSTEMS cu codul MS 1509-12/0 0 010 cu următorii parametri [3]:

$$\begin{aligned}
 P_n &= 30W - \text{puterea nominală}; & U_n &= 12V - \text{tensiunea nominală}; \\
 I_n &= 3,25A - \text{curentul nominal}; & I_0 &= 0,53A - \text{curentul de mers în gol}; \\
 I_{pk} &= 22,7A - \text{curentul maximal}; & \omega_n &= 6700rpm - \text{viteza unghiulară nominală}; \\
 \omega_0 &= 8000rpm - \text{viteza unghiulară de mers în gol}; & R_{th} &= 8,7 \frac{^\circ C}{W} - \text{rezistența termică}; \\
 M_n &= 0,042Nm - \text{cuplul nominal}; & M_{pk} &= 0,3Nm - \text{cuplul maxim}; \\
 K_t &= 0,013 \frac{Nm}{A} - \text{constanta cuplului}; & R_a &= 0,72Ohms - \text{rezistența rotorică}; \\
 L_a &= 0,40mH - \text{inductanța rotorică}; & i_{gb} &= 10 - \text{raportul a reductorului}; \\
 \eta_{gb} &= 0,9 - \text{randamentul reductorului}.
 \end{aligned}$$

În tabelul 3 este prezentat algoritmul de verificare a motorului selectat.

Tabelul 3. Algoritmul de verificare a motorului selectat.

| PASUL | OPERAȚIA | COMENTARIUL |
|-------|--|---|
| 1 | $M_{gbout} = M_a + M_t$ | Cuplul de antrenare a șurubului |
| 2 | $M_{gbin} = \frac{M_{gbout}}{i_{gb} \cdot \eta_g}$ | Cuplul la arborele primar al reductorului |
| 3 | $M_{rmsgin} = \frac{M_{rms}}{i_{gb} \cdot \eta_g}$ | Rădăcina medie pătratică al cuplului la arborele primar al reductorului. |
| 4 | $I_{pkcalc} = \frac{M_{gbin}}{K_t} + I_0$ | Curentul maximal calculat |
| 5 | $M_{lt} = \frac{\sin(\theta) \cdot m_{lt} \cdot g \cdot p_l}{2\pi \cdot \eta_s}$ | Cuplul minim și maxim pentru procesul de burare pentru masa între 5-35kg. |
| 6 | $I_{lt} = \frac{M_a + M_{lt}}{K_t \cdot i_{gb} \cdot \eta_g} + I_0$ | Curentul pentru procesul de burare cu masa minimă și maximă. |
| 7 | $\Theta_r = \frac{R_{th} \cdot I_{rms} \cdot R_a}{1 - (R_{th} \cdot I_{rms} \cdot R_a \cdot 0,00392)}$ | Creșterea temperaturii |
| 8 | $\Theta_m = \Theta_r + \Theta_a$ | Temperatura motorului de antrenare |

În tabelul 4 sunt prezentate rezultatele finale ale calculărilor efectuate care vor fi folosite ulterior în simulările în MATLAB.

Tabelul 4. Rezultatele calculelor

| ELEMENT | PARAMETER |
|-------------------------------|-------------|
| Viteza greutateii | 0,067 m/s |
| Viteza unghiulară a șurubului | 70,16 rad/s |
| Cuplul la capătul șurubului | 0,263 Nm |
| Cuplul la burarea minimă | 0,057 Nm |
| Cuplul la burarea medie | 0,228 Nm |
| Cuplul la burarea maximă | 0,399 Nm |
| Curentul la burarea minimă | 1,32 A |
| Curentul la burarea medie | 2,78 A |
| Curentul la burarea maximă | 4,24 A |
| Rezistența rotorului | 0,72 Ohm |
| Inductanța rotorului | 0,4 mH |

5. Simularea actuatorului liniar

În scopul de a analiza performanța unității de extracție în detaliu, sistemul electromecanic va fi simulat în software-ul MATLAB și care ne va oferi o mai bună înțelegere a întregului sistem supradimensionat.

Luând în considerație proiectarea de modernizare a unității extracție și caracteristicile alese a convertorului rotativ-linear (șurubul de acționare), va fi necesară și esențială pentru ca sistemul de fierbere să fie montat direct pe actuatorul linear. În figura 4 este prezentată schema de simulare a sistemului de translație linear selectat în mediul MATLAB.

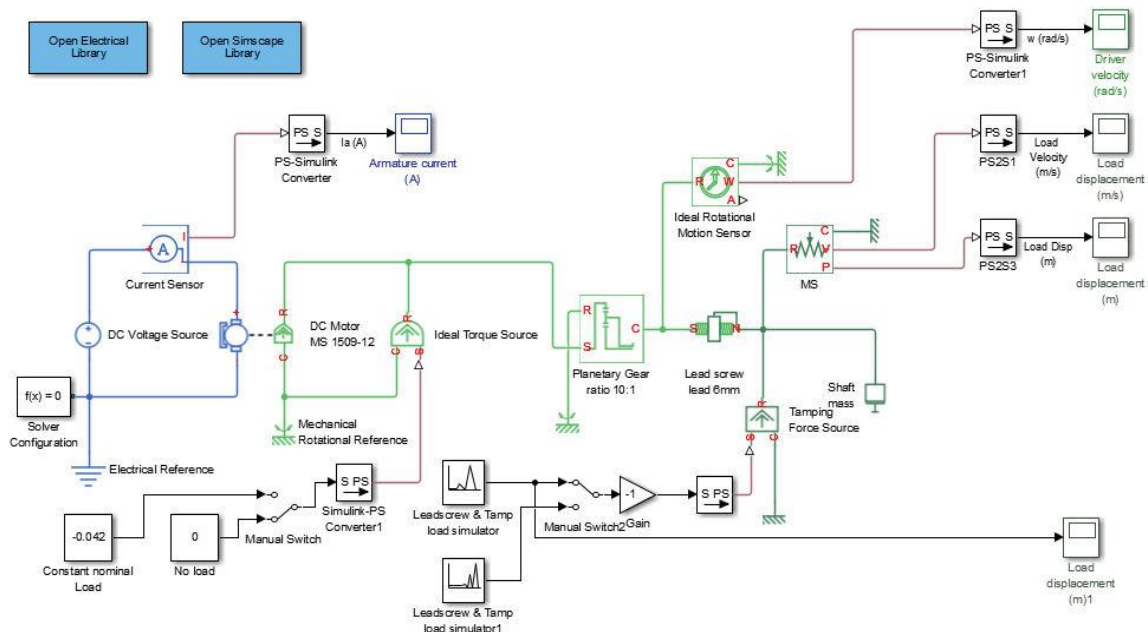


Fig. 1. The scheme for the simulation of the lead screw linear actuator with the servo motor of the type MS 1509-12/0 0 010

Schema de simulare este realizată cu utilizarea componentelor din pachetul Simscape și semnalelor fizice în care cu culoarea albastră este reprezentată partea electrică, cu verde deschis – partea mecanică rotativă și verde închis – partea mecanică de translație. Convertoarele Simulink-PS și PS-Simulink sunt utilizate pentru a avea posibilitate de a utiliza componentele Simulink. Pentru obținerea rezultatelor simulărilor sunt utilizate scope-uri rezultatele cărora sunt prezentate în figura 3 de mai jos.

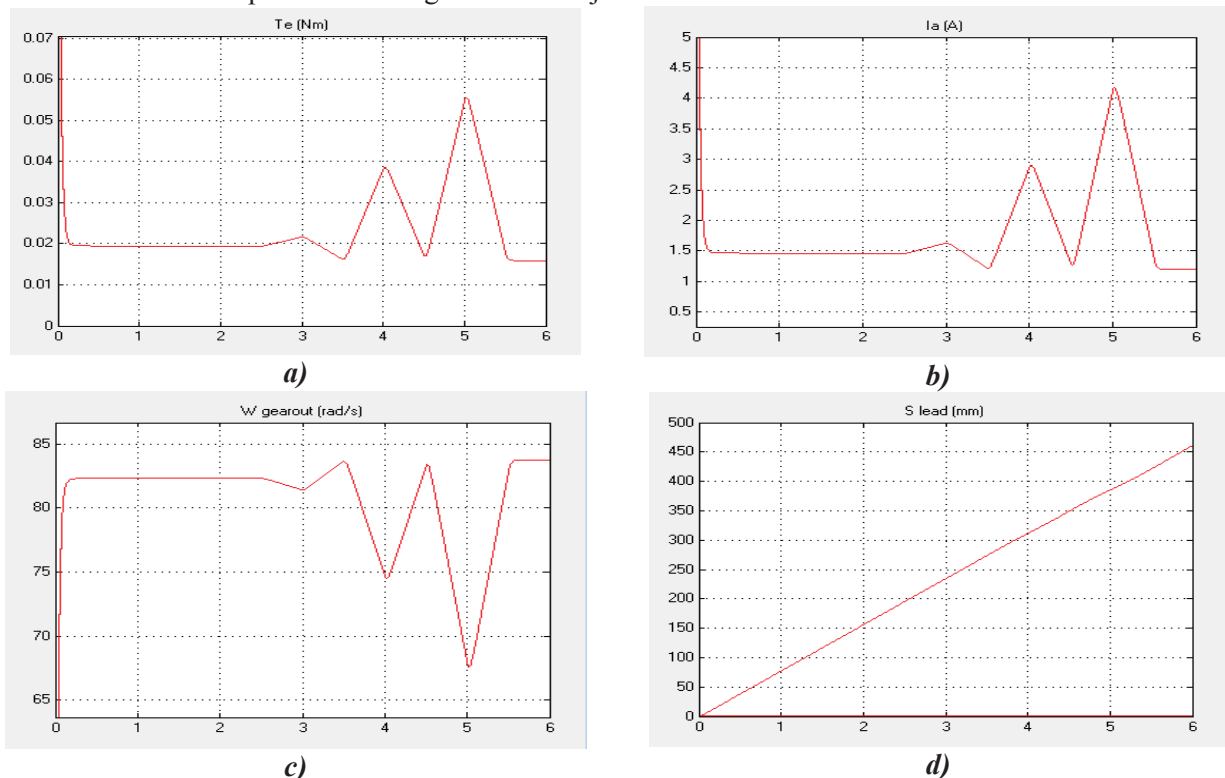


Fig. 2. Rezultatele obținute în urma simulărilor efectuate: **a** - Cuplul motorului; **b** - Curentul n înfășurarea rotorului; **c** - Viteza unghiulară al arborelui rotorului; **d** - Distanța parcursă de încărcătura.

Pentru simularea procesului de burare la șurubul de antrenare a încărcăturii este aplicat o sarcină care simulează cele trei niveluri de burare: minim, mediu și maxim. În figura 3a este prezentat profilul cuplului la arborele motorului și în figura 3b profilul curentului necesar pentru dezvoltarea cuplului respectiv. Luând în considerație că este simulată o acționare a motorului fără buclă de reacție profilul semnalului reprezentat în figura 3c reprezintă viteza unghiulară al rotorului în care se vede cum aceasta scade sub acțiunea sarcinii. Cu toate aceste variații ale vitezei unghiulare influențate de cuplul sarcini nu se răsfrâng asupra vitezei liniare parcurse de încărcătură. În figura 3d se poate observa ca aceasta rămâne relativ constantă.

În urma simulărilor efectuate s-au obținut valorile curentului necesare pentru controlul procesului de burare, care poate fi considerată ca fiind curentul de reglare arătat de mai jos care coincide cu cel calculat.

$$I_{ad} = 1,7 \div 4,2 A \quad (1)$$

6. Concluzii și recomandări

În concluzie la prezenta lucrare pot fi evidențiate următoarele:

- ✓ Un sistem electromecanic de acționare a unității de infuzie a unui aparat de cafea automate a fost proiectat care implementează procesul de burat reglabil cu control numeric.
- ✓ Sistemul de acționare liniară poate parcurge distanța de 0,2 metri în mai puțin de 3 secunde.
- ✓ Limitele curentului rotoric pentru controlul automat numeric sunt cuprinse între 1,7 ÷ 4,2 A.
- ✓ Temperatura motorului de curent continuu în timpul ciclurilor grele vor rămâne sub 70 grade Celsius.

Dispozitivul de acționare a unității de preparare dimensionat este recomandat pentru punerea în aplicare în prepararea a cafelei în aparatele automate. Presiunea de burat reglabil automat va elimina eroarea din procesul de râșnire. Unitatea de brasaj cu procesul de compactare reglabil va compensa sub și supra reglajul a întregului sistem.

Bibliografie

1. Barista Technique: Dose, Distribute, Tamp. Repeat, <https://www.home-barista.com/espreso-guide-dose-distribute-tamp.html>
2. Certified Italian Espresso and Cappuccino. http://www.ESPRESSOITALIANO.org/files/File/istituzionale_inei_hq_en.pdf
3. Dynetic Systems, DC Brushed motors catalogue. MS/MR series, <http://www.dynetic.com/pdfs/Brushed/Section%20A/Dynetic%20Systems%20Catalog.pdf>
4. Ilie Nuca. Modelarea Matematică a Sistemelor Electromecanice, Note de curs. <http://elearning.utm.md/moodle/course/view.php?id=67>
5. Ilie Nuca. Acționări Electrice, Note de curs. <http://elearning.utm.md/moodle/course/view.php?id=68>
6. Hughes A., Electric Motors and Drives. Fundamentals, Types and Applications, third edition, Published by Elsevier Ltd, 2006. 431 pages.
7. Saeco technical support, www.saeco.co.uk/espreso-machine-support
8. D. Montone. How to pick motors for linear motion, Sensing and control technology guide, Harleisville, Pa., p.50-58
9. MATLAB technical support, <http://www.mathworks.com/support/>
10. Bezzera technical support, http://www.bezzera.it/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=107&lang=en (accesat 23.06.2014)
11. Adrian Țurcanu, Ilie Nuca, Utilizarea tehnologiilor informaționale în analiza și controlul calității procesului de producție a cafelei „espreso”, ICTEI Proceeding, 5th edition, p. 111-113.
12. Adrian Turcanu, Ilie Nuca, Modernization of the Grinding System of the Auto-mated Coffee Machine, Proceeding CNAE-2014, XXI edition, p 251-262.