

MODELAREA SISTEMULUI DE CONTROL A TEMPERATURII CU REGULATOR FUZZY LA MASINILE DE INJECTARE A POLIMERILOR

VADIM CAZAC, ILIE NUCA

Universitatea Tehnică a Moldovei

Abstract: În prezent dezvoltarea industriei de produse din plastic tinde să crească calitatea și volumul produselor obținute prin această metodă. Numitorul comun cu privire la calitatea, productivitatea și eficiența costurilor în producerea de obiecte din plastic, acesta este procesul termic care trebuie să asigure plastifiere materialul în cilindru de plastifiere a mașinii. În această lucrare este elaborat un model matematic care descrie procesul de încălzire termică cilindru de plastifiere pentru masina de turnare prin injecție. Au fost simulate procese tranzitorii, la începutul și în regim de lucru a mașinii, cu regulator fuzzy și PID.

Cuvinte cheie: plastifiere, mașina de injectare a polimerilor, cilindru de plastifiere

1. Introducere

Pentru calculul termic a zonelor de plastificare a mașinii de turnat este necesar de determinat cantitatea de energie termică care se degajă la deformarea plastică pe fiecare zonă a mașinii, care este determinată de geometria șnecului, numărul de rotații, viscozitatea polimerului, lungimea zonei, poate fi determinată după următoarea relație empirică:

$$Q_{pl} = 110330.5 \cdot d_1^2 \cdot m^2 \cdot \eta \cdot l / h \quad (1)$$

Unde: d_1 - diametrul efectiv al șnecului, m; m - numărul de rotații, tur/min; η - viscozitatea efectivă a materialului (kg/h)/m²; h - adâncimea canalului șnecului, m; l - lungimea zonei, m.

În general calculul termic pentru extrudare și termoplaste se efectuează pentru două regimuri: de pornire și regimul staționar de lucru.

În regim de pornire se calculează cantitatea de energie termică necesară unității de injectare pentru a ridica temperatura la cea necesară pentru plastificarea termoplastului, cu calcularea ulterioară a a puterii încălzitoarelor pentru fiecare zonă.

În regim de lucru staționar (regim normal de exploatare) se calculează cantitatea de energie termică necesară pentru menținerea regimului de prelucrare termică necesar. Cantitatea de căldură necesară se determină pentru o oră.

Acest algoritm de calcul nu ne garantează o încălzire a unității de injectare (în regim de mers în gol) până la temperatura necesară timp de o oră. De aceea a fost elaborat modelul matematic a procesului de încălzire în baza relațiilor echilibrului termic cu ecuații diferențiale pentru fiecare zonă.

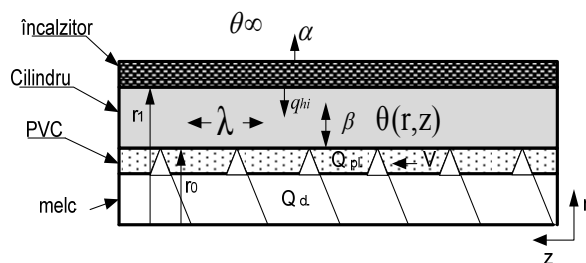


Fig. 1 Fluxului de căldură în cilindru de încălzire [2]

2. Modelul matematic al unității de injecție în regim de pornire

La elaborarea modelului matematic a regimului termic la pornirea mașinii sa utilizat metoda pe blocuri de modelare a procesului. S-a presupus că în regim de pornire toate blocurile elementare pe fiecare zonă sunt cu parametri concentrați. În astfel de condiții schema care ne va arata legăturile dintre blocurile elementare va avea următoarea structură prezentată în figura 2, unde $T_{inc.}$; $T_{cil.}$; T_{melc} ; $T_{iz.}$ - temperatura medie a încălzitorului, cilindrului, melcului și izolației în acel moment de timp, Q_{el} – puterea livrată încălzitoarelor,

W; Conform schemei structurale elaborăm ecuațiile echilibrului termic în formă diferențială pentru fiecare bloc:

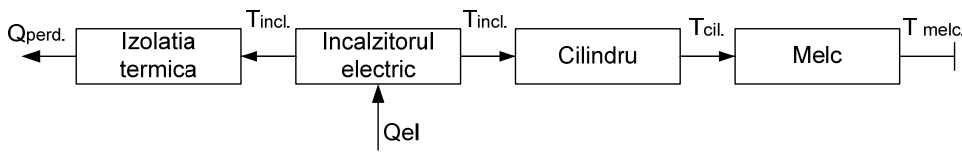


Fig. 2 Schema bloc a modelului matematic a unei zone a unității de injecție

- pentru încălzitor

$$\frac{d}{d\tau}(m_{inc.} \cdot c_{inc.} \cdot T_{inc.}) = Q_{el.} - \frac{\lambda_{inc.} \cdot S_{inc.}}{2h_{inc.}} (T_{inc.} - T_{cil.}) \quad (2)$$

- pentru izolație

$$\frac{d}{d\tau}(m_{iz.} \cdot c_{iz.} \cdot T_{iz.}) = \frac{\lambda_{inc.} \cdot S_{inc.}}{2h_{inc.}} (T_{inc.} - T_{iz.}) - \alpha_1 \cdot S_{extern} (T_{iz.} - T_{mediu}) \quad (3)$$

- pentru zona cilindrului

$$\frac{d}{d\tau}(m_{cil.} \cdot c_{cil.} \cdot T_{cil.}) = \frac{\lambda_{inc.} \cdot S_{inc.}}{2h_{inc.}} (T_{inc.} - T_{cil.}) - k_T \cdot S_{cil.} (T_{cil.} - T_{melc}) \quad (4)$$

- pentru zona melcului

$$\frac{d}{d\tau}(m_{melc.} \cdot c_{melc.} \cdot T_{melc.}) = k_T \cdot S_{cil.} (T_{cil.} - T_{melc.}) \quad (5)$$

În relațiile (2- 5) sau notat: $M_{inc.}$, $M_{iz.}$, $M_{cil.}$, $M_{melc.}$ - masele încălzitorului, izolației, cilindrului, melcului, kg; $c_{inc.}$, $c_{iz.}$, $c_{cil.}$, $c_{melc.}$ - caldura specifică a materialului, kcal/kg°C; $\lambda_{inc.}$, $h_{inc.}$, $S_{inc.}$ - conductivitatea termică a materialului [W/m°C], grosimea încălzitorului, m și suprafața totală a încălzitorului m²; α_1 - coeficientul de transfer termic de la suprafața externă a izolației în mediul extern [W/(m²·°C)]; k_T - coeficientul de transfer termic de la suprafața internă a cilindrului prin aerul dintre cilindru și melc, spre melc, [W/(m²·°C)]; T_{med} - temperatura mediului ambiant, °C.

3. Descrierea matematică a unității de injecție în regim de lucru continuu

După calculul termic al unității de injecție în regim de pornire care avea ca scop determinarea puterii necesare a încălzitoarelor zonelor plastificatorului și care asigură eșirea unității de injecție la temperatura necesară pentru prelucrarea polimerului.

Este necesar de elaborat modelul matematic al unității de injecție în regim normal de exploatare unde se ia în considerație mișcarea materialului prin cilindru.

Mai sus sa arătat ca dacă materialul se află în zonele de plastifiere și de dozare, atunci structura fluxului de material se supune unui model difuz cu un singur parametru; în zona de încărcare (prima zonă tehnologică) structura mișcării materialului corespunde modelului de deplasare ideală.

Elaboră modelul matematic a regimului de încălzire pentru o zonă de plastificare în regim normal de exploatare, luând în considerație faptul că în această zonă se începe eliminarea de căldură în urma deformării plastice a materialului.

În timpul deplasării materialului prin această zonă materialul se înfierbîntă primind căldură nu numai de la cilindru dar și datorită eliminării de căldură în urma deformării plastice a materialului Q_{pl} . Această cantitate de căldură se determină după o relație empirică (3.1).

În legătură cu aceasta, pentru eliminarea surplusului de temperatură care poate duce la supraîncălzirea materialului, aceasta este treptat redusă prin racirea melcului. Tot o dată trebuie de luat în considerație că în regim normal de exploatare temperatura zonelor este reglată de un sistem de reglare automată. De aici la elaborarea modelului se poate de luat în considerație că temperatura cilindrului la mișcarea materialului este o mărime constantă și determinată de tipul materialului prelucrat.

Schema bloc a modelului matematic regimului termic a zonei este în figura următoare:

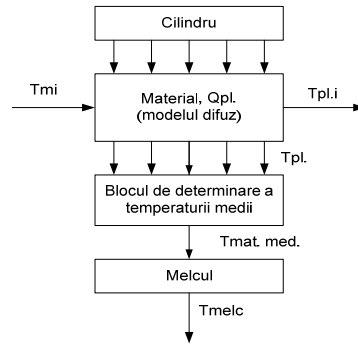


Fig.3 Schema bloc a modelului matematic pentru descrierea regimului termic a zonei de plastificare

Pentru fiecare bloc scriem ecuațiile balanței termice în formă diferențială:

1) pentru cilindru:

$T_{cil.i}(l, \tau) = \text{const}$, i - numărul zonei termice ($i=1,2,3$);

2) pentru material luând în considerație că structura fluxului de material este descris de un model difuz cu un parametru:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\tau} (\overline{\Delta S_i \Delta l \rho_{Mi} c_{Mi} T_{Mij}}) &= u_M \overline{\Delta S_i \rho_{Mi} c_{Mi}} (T_{Mij-1} - T_{Mij}) \\ &+ u_M \overline{\Delta S_i \rho_{Mi} c_{Mi}} (T_{Mij+1} - T_{Mij}) + Q_{pl} + k_{cil.-mat.} \overline{\Delta S_{cil.i.j}} (T_{cil.i} - T_{Mij}) + \\ &+ k_{mat.-melc.} \overline{S_{melc}} (\overline{T_{med.i.}} - T_{melc.i}) \end{aligned} \quad (6)$$

Unde: $\overline{\Delta S_i}$ - suprafața medie a secțiunii transversale a zonei termice; Δl - lungimea elementară a zonei; Q_{pl} - căldura de la deformarea plastică pe lungimea Δl ; $k_{cil.-mat.}$ - coeficientul de transfer termic de la cilindru la material; $\overline{\Delta S_{cil.i.j}}$ - suprafața de transfer termic de la cilindru la material pe lungimea Δl ; $T_{cil.i}$ - temperatura cilindrului; T_{Mij} - temperatura materialului în zona j ; j - incile secțiunii zonei termice [3]

3) pentru blocu de determinare a temperaturii medii [3]

$$\overline{T_{mat.i}} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_{Mij} \quad (7)$$

4) pentru melc [3]

$$\frac{d}{d\tau} (\overline{M_{melc.} c_{melc.} T_{melc.i}}) = k_{mat-melc.} \cdot \overline{S_{melc.}} (\overline{T_{mat.i.}} - T_{melc.i}) \quad (8)$$

Unde: $\overline{M_{melc.} c_{melc.} T_{melc.i}}$ - greutatea, căldura specifică, temperatura melcului în zona i ;

$k_{mat-melc.}$ - coeficientul de transfer termic de la material la melc.

Calculul ecuațiilor (6 – 8) cu condițiile inițiale prescrise ne permite să calculăm încălzirea materialului care se mișcă prin cilindru la lungimea dată a zonei. [3]

4. Setarea regulatorului Fuzzy în mediul MatLab

Mediul de programare MatLab Simulink conține un toolbox care la rândul său conține mai multe tipuri de regulatoare fuzzy. Pentru simularea modelului din capitolul 5 a fost utilizat un bloc care se numește Fuzzy logic Controller din acest toolbox.

În continuare vor fi prezentate etapele pe care trebuie de parcurs pentru a seta un astfel de regulator.

Mai întâi de toate se plasează în modelul pe care dorim să îl simulăm, în bucla de reacție blocul Fuzzy logic Controller din biblioteca Simulink, apoi în fereastra de comenzi a MatLabului accesăm comanda *fuzzy*, accesând această comandă MatLabul ne va deschide o fereastră FIS Editor unde avem indicată schematic structura unui regulator fuzzy fig. 4

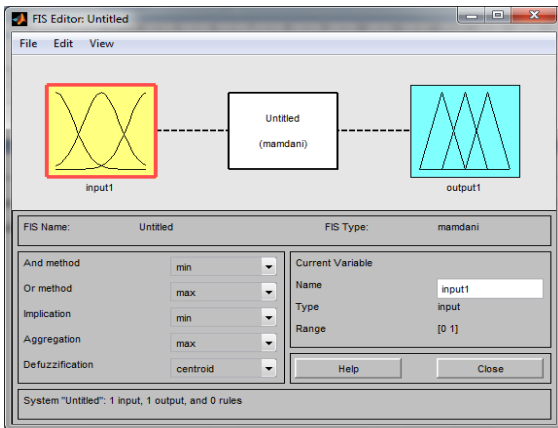


Fig. 4 Editorul regulatorului Fuzzy

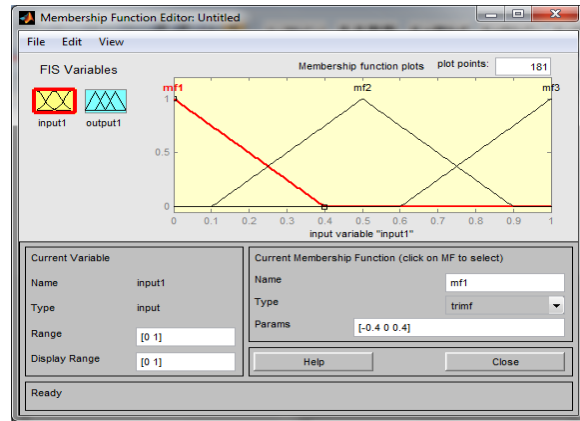


Fig. 5 Setarea variabilei de intrare

Făcînd dublu clic pe blocul input noi putem modifica legile de defuzificare a semnalului de intrare în regulator cît și diapazonul lui fig.5

În mod analogic este setată și variabila de esire a regulatorului făcînd dublu clic pe output din fereastra de bază a editorului sau din fgerastra Membership function Editor cînd edităm variabila de intrare fig.6

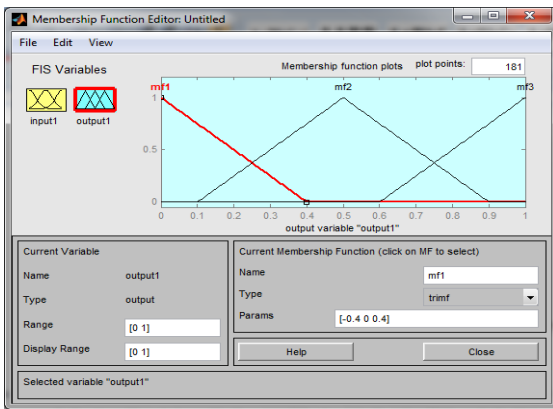


Fig.6 Setarea variabilei de eșire

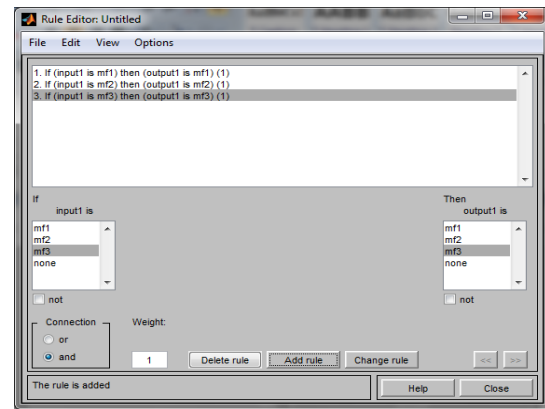


Fig.7 Crearea bazei de reguli

Bza de reguli după care va funcționa regulatorul se crează într-un fișier *mandami* care apoi este denumit după dorința utilizatorului. Aceasta se poate de efectuat făcînd dublu clic în fereastra de bază a editorului pe caseta MANDAMI fig.7.

După ce creăm aceste reguli este necesar ca fișierul să fie salvat de obicei se salvează sub formă de file într-o mapă apoi este necesar de al exporta în zona delucru a MatLabului(fig.8)

Exportarea fișierului în mapa de lucru a MatLabului este obligatorie deoarece regulatorul din schema pe care dorim să o simulăm nu o să găsească acest file creat cu bazele de regului și respectiv ne va da eroare.

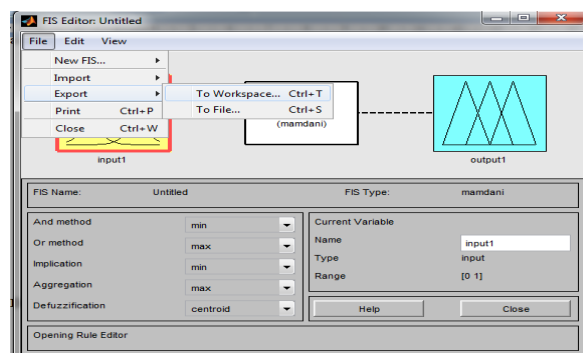


Fig.8 Exportarea fișierului creat într-un file sau în zona de lucru

5. Modelul simulink a sistemului cu regulator Fuzzy

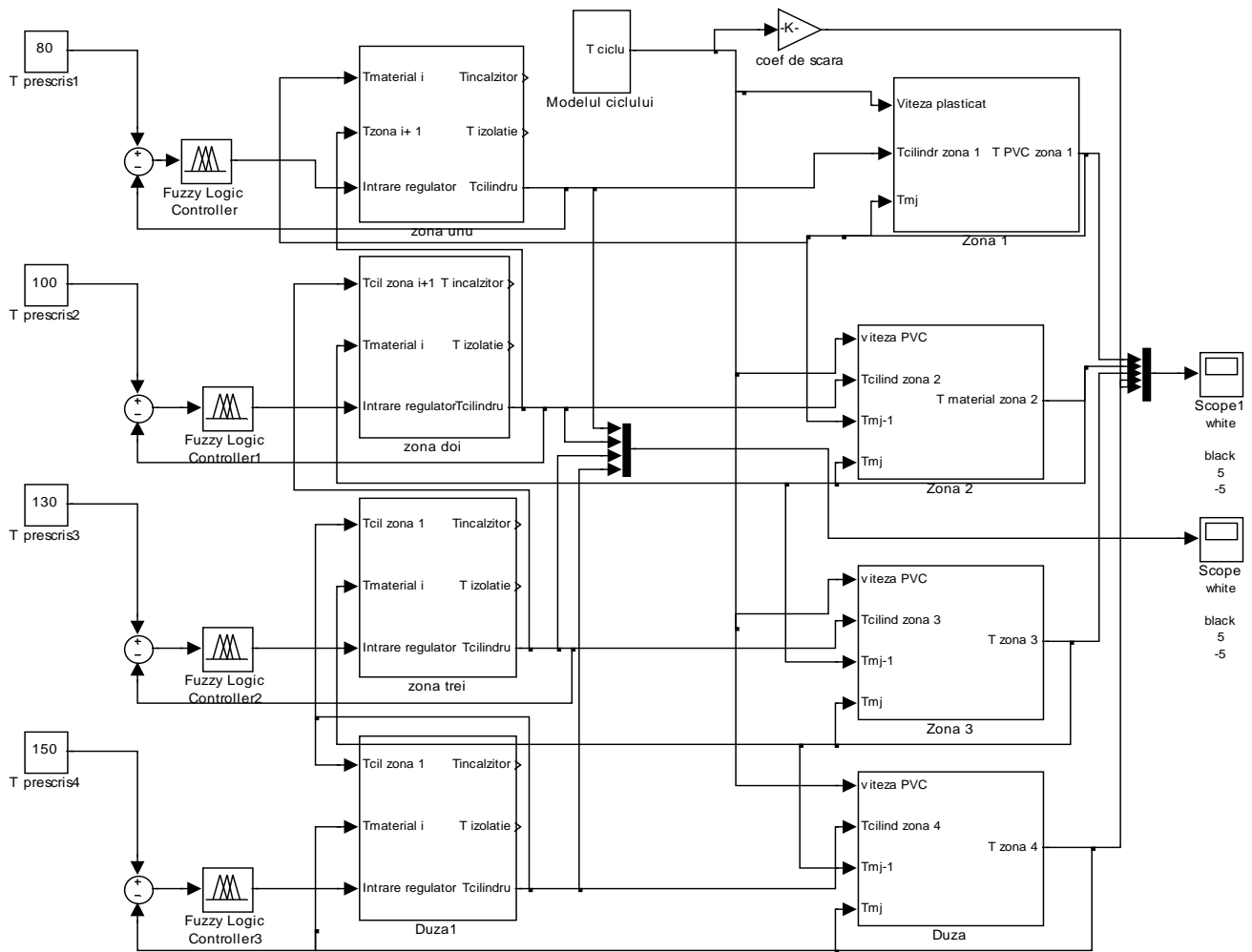


Fig.9 Schema modelului Simulink cu reglatoare Fuzzy

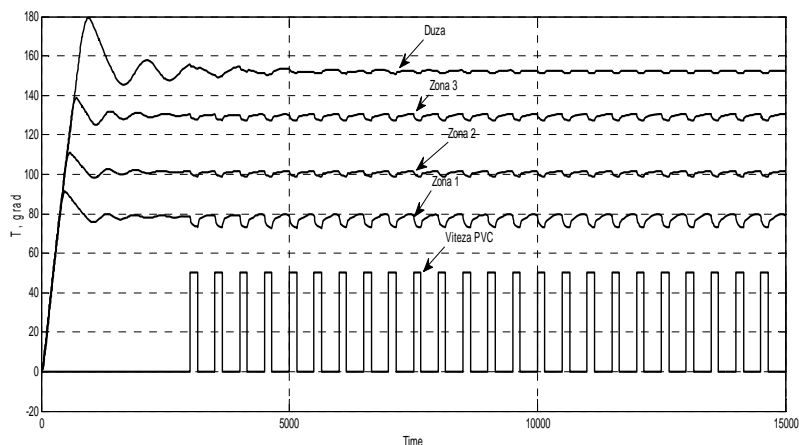


Fig. 10 Temperatura materialului pe fiecare zonă la reglarea Fuzzy

6. Analiza rezultatelor

În baza rezultatelor obținute în urma simulării modelului cu regulator Fuzzy sa efectuat analiza reultatelor sub formă tabelară (tab.5.1)

Tabelul 1. Performanțele sistemului în regim tranzitoriu cu diferite tipuri de reglatoare

Tipul regulatorului	Zona	Eroarea staționară $\square_{st}, \%$	Suprareglajul $\sigma, \%$	Timpul tranzitoriu T_t, s	Timpul de creștere T_c, s
PID	I	1	22.5	720	290
	II	0.8	11	600	372.5
	III	0.2	6.1	650	510
	Duza	1.4	7	1000	687
Fuzzy	I	2.5	25	850	304
	II	2	19	850	384
	III	0.7	13	859	511
	Duza	1.3	20	1342	684

Concluzii

1. A fost elaborat modelul matematic a cilindrului de plastifiere al masinii de inlectare analizind procesul fizic de plastifiere luînd în considerare eliminarea de caldura sub influenta presiunii materialului în cilindru.
2. Modelarea la calculator a permis optimizarea procesului în regim dinamic și static la mașina reala excluzînduse astfel oscilatiile mari de temperatura în zona de plastifiere a materialului.
3. Rezultatele obtinute au fost implimentate la modernizarea masinii reale de tipul DE 3330 F1. Testele practice au demonstrat ca reglarea digitală a temperaturii pe fiecare zona termică asigură eșirea rapidă la temperatura prescrisă eliminînduse șocurile mari de temperatură astfel reducînduse rebutul.

Bibliografie

4. Tomoyuki AKASHI: *Temperature Control of Heating Cylinder of Injection Moulding Machine by Decoupling Method*, Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers Vol.E-1, No.1, 51/59 (2001)
5. Dominick V. Rosato, Donald V Rosato, Marlene G. Rosato: *Injection molding handbook*, ed. 3 ISBN 0-7923-8619-1, 1997
6. *Tehnologii de injecție în matriță*: Îndrumar de proiectare, Universitatea Politehnica București, Facultatea Ingineria și Managementul Sistemelor Tehnologice, Catedra Tehnologia Construcțiilor de Mașini, 2009
7. Douglas M. Bryce: *Plastic Injection molding; Manufacturing Process Fundamentals* . SME, 1996. ISBN 0-87263-472-8
8. Cazac Vadim. *Automatizarea mașinii de injecție a materialelor plastice*; Teză de master, Chisinau, 2012.
9. http://www.impuls95.ru/catalog/item/thermoplastic_3330_f1.html
10. Z. Tadmor, I.J. Durderni and I.Klein: *Melting in Plasticating Extruders-Theory and Experiments*, SPE Technical Papers