

ECUAȚII DE CALCUL ALE UNOR MĂRIMI FIZICE ALE SOLUȚIEI HIDROAMONIACALE LA SATURAȚIE

Ș.l. ing. Ilie-Lică CANDIN*, Prof. dr. ing. Constantin IOSIFESCU**

*UNIVERSITATEA „Lucian Blaga” Sibiu, **UNIVERSITATEA „Dunărea de Jos” Galați

Abstract. In this paper, there are presented equations for some thermodynamic state parameters of the hydro-ammonia solution at the saturation point, such as: concentration-ammonia mass concentration $\xi = f(T, p)$ and $\xi' = f(T, v')$, pressure $p_s = f(T, \xi')$, temperature $T_s = f(p, \xi')$, density of the saturated liquid $\rho' = f(T, \xi')$, and specific volume $v' = 1/\rho' = f(T, \xi')$. The equations are presented as polynomial functions with different number of coefficients and for different domains. The results were obtained using different optimisation methods for the coefficients, from the existing numerical data in tables and diagrams.

1. INTRODUCERE

Instalațiile cu absorbție au început să fie reconsiderate, în special după ce criza energetică mondială a început să fie resimțită. Dacă mai adăugăm și riscul mai scăzut de poluare, comparativ cu instalațiile cu compresie de vapori, interesul pentru aceste instalații crește.

Soluția hidroamoniacă este una din soluțiile binare cele mai folosite în instalațiile termice cu absorbție (IF, PC, TC). Pentru studiul unei instalații termice (proiectare, exploatare și mai ales optimizarea acesteia) este nevoie să se cunoască foarte bine agentul de lucru (agentul termic). În decursul timpului o serie de cercetători au studiat comportamentul acestei soluții. Numărul mare de experiențe au dus la apariția a o serie de diagrame, tabele utile personalului din domeniul respectiv. Printre cele mai importante este diagrama ($h - \xi$) realizată de Merkel și Bosnjaković publicată în 1929. Această diagramă precum și cele elaborate ulterior ($\ln p : -1/T$) ($\rho - \xi$); ($\rho - \xi$); ($\eta - \xi$); ($\lambda - \xi$), ($cp - \xi$) etc, și-au dovedit utilitatea în calculele ingineresti.

Astăzi, inginerul ar trebui să fie preocupat nu numai de modul de folosire, ci și de modul de actualizare a acestora, de construirea unei rețele a proprietăților termodinamice ale unui fluid. *Asamblarea unei astfel de rețele complete dintr-un număr minim de date experimentale și verificarea consistenței lor constituie o problemă de dificultate considerabilă și necesită o muncă plină de răbdare și ingeniozitate* spunea în 1944 Dodge.

Odată cu dezvoltarea impetuoasă a mijloacelor de calcul, metodele tradiționale de determinare a parametrilor termodinamici ai unor agenți de lucru din diagrame sau tabele deduse experimental sunt depășite. În momentul de față, nu se mai pune problema complexității unei relații, având în vedere rapiditatea de procesare a computerelor. Pentru un studiu termodinamic, pentru o proiectare cât mai exactă și rapidă a instalațiilor termice și mai ales pentru optimizarea unor anumite procese (o exploatare eficientă a instalațiilor existente în diferite regimuri de lucru), trebuie să se

cunoască bine agentul de lucru. Este mult mai eficient să avem la dispoziție relații de calcul (ecuații termodinamice), chiar dacă acestea sunt ceva mai complexe. În acest sens trebuie deduse ecuații (funcții) analitice numite ecuații de stare din care să rezulte toate mărimile termodinamice. Odată determinate și verificate cu datele experimentale existente, modelarea diverselor procese termice este mult ușurată.

O importanță deosebită în folosirea diverselor ecuații de stare, valabile pentru anumite domenii (faze) ale agentului o prezintă condițiile de echilibru dintre faze ale agentului termic.

2. CONDIȚIILE DE ECHILIBRU

Expresiile matematice care precizează condițiile de saturație sunt funcții ale căror coeficienți au fost determinați prin calcule de optimizare din datele experimentale găsite în literatura de specialitate (tabele și diagrame termodinamice). La formele finale, pe care le prezentăm, am ajuns studiind comportamentul a o serie de funcții de diverse forme (polinomiale, exponențiale, logaritmice etc.) și cu diverse numere de coeficienți.

Aprecierea rezultatelor pe întreg domeniul s-a făcut comparând valorile mărimilor de stare calculate cu cele deduse experimental, prin calculul erorilor medii absolute și relative:

$$\varepsilon_a = \left[\sum_{i=1}^N \frac{(x_c - x_{ef})^2}{N} \right]^{0.5} \quad (1)$$

$$\varepsilon_r = \left[\sum_{i=1}^N \frac{\left(\frac{x_c - x_{ef}}{x_{ef}} \right)^2}{N} \right]^{0.5} \quad (2)$$

unde: N este numărul de valori calculate; x_c – valoarea parametrului termodinamic calculat cu relațiile ce vor fi prezentate; x_{ef} – valoarea parametrului de stare dedusă experimental.

Semnificativ este și variația acestor erori în domeniul de aplicabilitate, așa cu sunt prezentate în figurile ce vor urma.

2.1. Concentrația soluției la saturație

2.1.1. Concentrația soluției la saturație funcție de temperatura absolută și de presiune $\xi = f(T, p)$

Din analiza a o serie întreagă de expresii de calcul am ajuns la o variantă optimă de forma:

$$\xi_c = \sum_{i=1}^9 \left(T^{5-i} \sum_{j=1}^9 x_{ij} \cdot (\ln p)^{5-j} \right) \quad (3)$$

Cei 81 de coeficienți x_{ij} sau calculat pentru două domenii:

A. Presiunea ia valori de la 0,1 bar la 20 bar, temperatura între -70 °C și 200 °C, iar concentrația masică ξ între 0 % și 100 % (întreg domeniul)

B. Presiunea ia valori de la 0,2 bar la 20 bar, temperatura între -60 °C și 180 °C, iar concentrația masică ξ între 5 % și 95 %.

Valorile acestor coeficienți se găsesc în tabelul 1, respectiv tabelul 2.

Erorile medii de calcul cu aceste relații față de valorile citite din diagrama $h-\xi$ sunt cele precizate în tabelul 10, iar repartizarea lor pe întreg domeniul reiese din fig. 1...11.

Tabelul 1

i \ j	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}	x_{4j}	x_{5j}	x_{6j}	x_{7j}	x_{8j}	x_{9j}
1	-5,12209E-15	2,93471E-13	-1,50488E-08	-1,73860E-05	1,91947E-02	-6,08519E+00	3,21593E+03	-2,90914E+06	8,64824E+08
2	-1,33062E-14	6,52733E-10	8,37058E-09	-8,59919E-05	-1,25441E-02	-8,12711E-04	2,82692E+04	4,58918E+06	-8,68280E+09
3	-1,99560E-12	1,49752E-10	-6,85098E-07	5,97065E-04	-8,40763E-01	-4,34752E-03	-7,52160E-02	2,83436E+02	5,01375E+10
4	7,17096E-14	-1,17556E-08	5,34968E-06	-1,38306E-03	3,03418E+00	-3,96331E-02	-1,09204E+02	-2,91834E+08	-1,30668E+11
5	-8,24378E-10	1,01127E-06	-3,31117E-04	2,78251E-03	2,62179E+00	-8,42437E+02	2,46836E+06	-1,81517E+02	2,65971E+11
6	2,70390E-10	1,36710E-09	-3,46903E-05	-5,21622E-03	4,66322E-01	-1,15146E-03	-6,00465E+00	-1,23871E+08	-1,93342E+11
7	1,32710E-09	-1,20200E-06	1,85023E-05	7,29677E-04	5,22713E+02	-4,81197E+05	1,77609E+08	-3,22405E+10	2,13721E+12
8	-2,07983E-09	1,01877E-06	-3,38339E-09	3,51150E-03	1,40211E+02	-9,66320E-02	-6,28933E+07	2,41322E+10	-2,29226E+12
9	9,45469E-09	-1,69356E-05	5,59463E-03	1,13950E-02	4,56828E+02	-5,06058E+05	1,76120E+08	-2,97134E+10	2,13976E+12

Tabelul 2

i \ j	x_{1j}	x_{2j}	x_{3j}	x_{4j}	x_{5j}	x_{6j}	x_{7j}	x_{8j}	x_{9j}
1	-8,85974E-15	1,37983E-12	7,67603E-08	-1,11036E-04	4,89314E-02	-4,10711E+00	1,16770E+03	-2,43595E+06	8,78023E+08
2	-5,49925E-13	3,39947E-12	8,33279E-07	-3,66801E-04	-1,18163E-01	3,83183E-02	1,72810E+04	1,05556E+07	-1,11681E+10
3	8,13873E-12	-9,97784E-09	8,29738E-06	-4,43535E-04	7,85322E-01	4,50923E-02	-7,58586E-01	-6,17332E+07	8,21827E+10
4	5,44381E-12	-6,21251E-08	-4,09903E-05	-9,30445E-04	5,66023E-01	9,76031E-03	1,92290E+05	-6,09271E+07	-2,99492E+11
5	-1,43343E-09	2,43959E-06	-6,41914E-04	-2,50981E-04	-1,99725E-01	1,09353E+04	-2,05703E+06	-3,42260E+03	6,80202E+11
6	-1,13514E-09	-6,37882E-07	4,36583E-04	-1,24737E-01	1,49504E+01	7,08164E-03	-5,24471E+00	4,30811E+07	-6,07552E+11
7	4,77082E-10	-3,82844E-07	1,27578E-08	-2,55122E-03	-1,86328E+01	-2,41022E+04	5,32153E+07	-1,25228E+10	1,06593E+12
8	-9,88884E-09	1,07431E-05	-2,95099E-10	4,33442E-05	-7,26285E+02	-4,42202E-02	-3,78274E+06	-3,79293E+09	-5,69244E+11
9	1,97340E-08	-8,32253E-05	4,05784E-02	-8,65103E-06	-2,06625E+03	-2,13072E+05	3,00880E+08	-3,96546E+10	3,09294E+12

2.1.2. Concentrația soluției la saturație funcție de temperatura absolută și volumul specific $\xi = f(T, v)$

Din analiza am ajuns la două variante optime pentru două domenii de forma:

A. Temperatura ia valori între -50 °C și 150 °C, iar concentrația masică ξ între 0 % și 100 %

$$\xi_c = \sum_{i=1}^4 \left(v^{3-i} \sum_{j=1}^8 x_{ij} \cdot T^{5-j} \right) \quad (4)$$

Un polinom cu 32 de coeficienți precizați în tabelul 3.

B. Temperatura ia valori între -50 °C și 150 °C, iar concentrația masică ξ între 10 % și 90 %

$$\xi_c = \sum_{i=1}^4 \left(v^{3-i} \sum_{j=1}^7 x_{ij} \cdot T^{4-j} \right) \quad (5)$$

Un polinom cu 28 de coeficienți precizați în tabelul 4.

Erorile medii de calcul cu aceste relații față de valorile citite din diagrama $h-\xi$ sunt cele precizate în tabelul 10, iar repartizarea lor pe întreg domeniul reiese din fig. 12...21.

2.2. Temperatura de saturație

Pentru calculul temperaturii de saturație am ajuns la o relație de forma:

$$T_s = \sum_{i=1}^8 \theta_i \cdot p^{(5-i)} \left[\sum_{j=1}^8 \theta_j \cdot \xi^{(5-j)} \right] \quad (6)$$

Cei 16 de coeficienți θ_i și θ_j se găsesc în tabelul 5.

Erorile medii de calcul cu această relație față de valorile citite din diagrama $h-\xi$ sunt cele precizate în tabelul 10, iar repartizarea lor pe întreg domeniul reiese din fig. 22 și 27.

Fig. 1. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

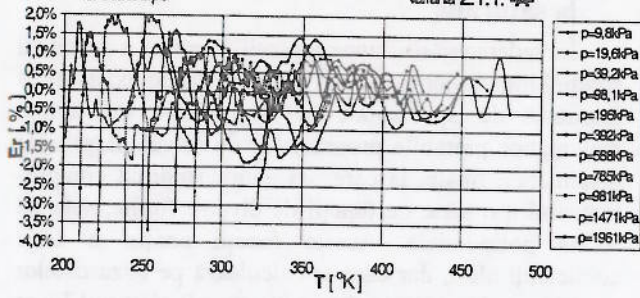


Fig. 6. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

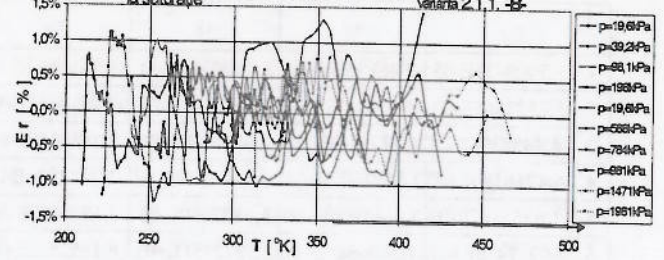


Fig. 2. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

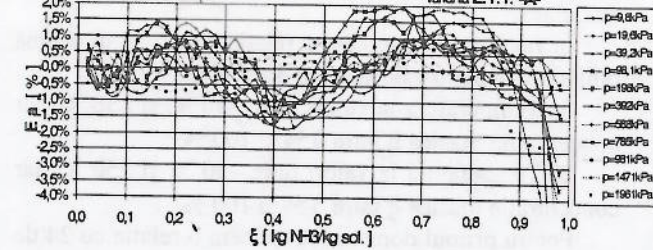


Fig. 7. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

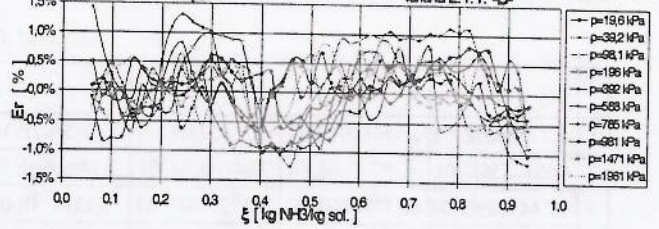


Fig. 3. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

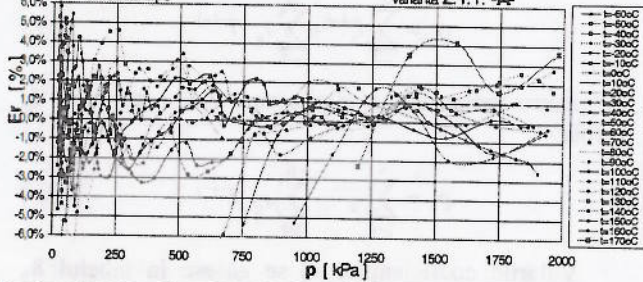


Fig. 8. Eroarea relativă în calculul concentrației soluției lichide la saturație

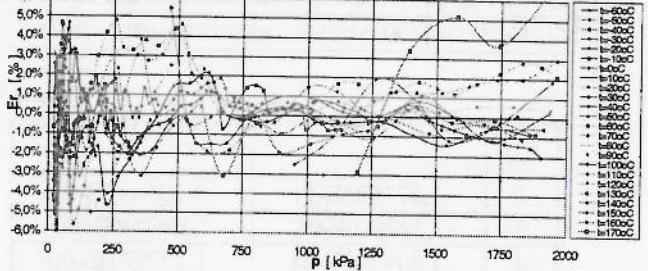


Fig. 4. EROAREA ABSOLUTĂ ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI SOLUȚIEI LICHIDE LA SATURAȚIE

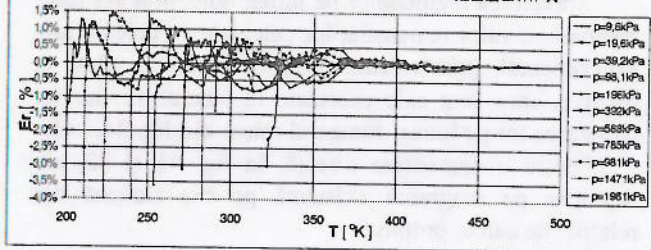


Fig. 9. EROAREA ABSOLUTĂ ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI

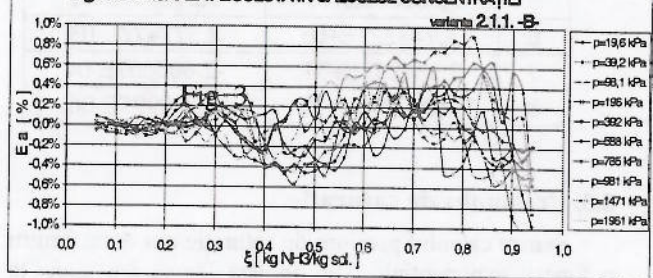


Fig. 5. EROAREA ABSOLUTĂ ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI SOLUȚIEI LICHIDE LA SATURAȚIE

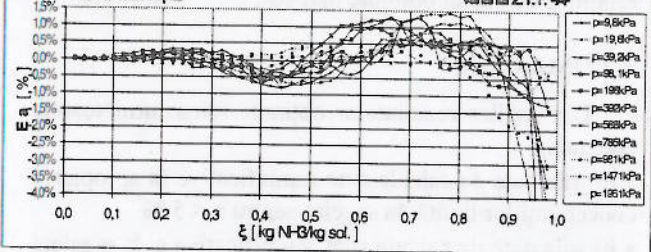


Fig. 10. EROAREA ABSOLUTĂ ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI

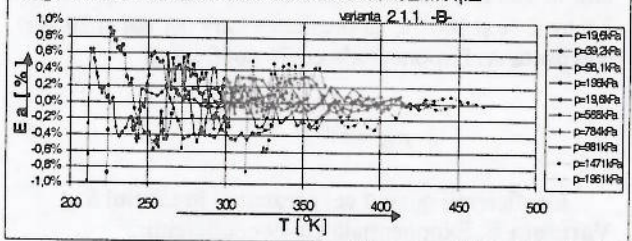
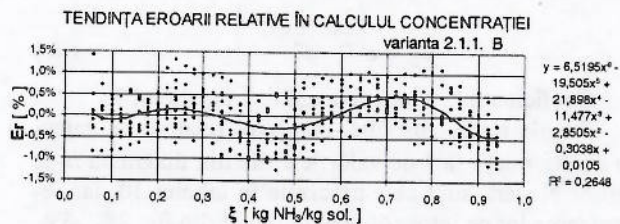


Fig. 11.



Tabelul 3

j i	x _{1j}	x _{2j}	x _{3j}	x _{4j}
1	1,5999431E-05	-2,4689574E-08	3,5947266E-11	-9,3450593E-15
2	1,7523865E-03	-1,3901732E-04	2,2672724E-07	-1,9888158E-10
3	-4,9458396E-04	1,7771541E-02	5,0521108E-05	5,6821046E-08
4	-6,4716180E+00	1,8521092E+01	-7,6922537E-02	-1,1411331E-05
5	-1,6335867E-03	3,4617966E+00	5,4822080E-01	2,1825077E-02
6	2,6917416E+07	-1,3696363E+06	5,3972751E+03	-8,1852552E+00
7	-1,0777653E+06	-1,4779503E+07	1,8460190E+03	3,9980829E+02
8	-2,3777324E+13	8,2335174E+10	-1,2528746E+08	5,4443534E+04

Tabelul 4

j i	x _{1j}	x _{2j}	x _{3j}	x _{4j}
1	-8,1135521E-02	3,9568497E-04	-6,3865342E-07	2,4935467E-10
2	6,6312356E+01	-4,1375709E-01	7,6410020E-04	-3,1489798E-07
3	-1,3442029E+04	1,2279734E+02	-2,5925457E-01	8,9151414E-05
4	9,3680385E-01	-6,2142186E+03	1,5226235E+01	1,0236912E-02
5	2,8746294E+09	-1,1561271E+07	1,7094274E+04	-1,1659597E+01
6	-2,1333111E+12	7,7959749E+09	-9,4067095E+06	3,9968024E+03
7	4,1426611E+14	-1,5425983E+12	1,8670700E+09	-7,4447131E+05

Tabelul 5

i, j	i	j
1	-1,372673E-11	-8,836591E-01
2	7,222010E-08	2,126096E+00
3	-1,474343E-04	-1,437971E+00
4	1,782488E-01	-5,977278E-01
5	3,506073E+02	9,272087E-01
6	-1,748225E+03	8,573472E-03
7	2,281257E+04	-2,606607E-04
8	-1,093096E+05	2,640995E-06

2.3. Presiunea de saturație

Pentru calculul presiunii de saturație am optat pentru o funcții exponențiale. Din analiza făcută am ajuns la două variante optime pentru același domeniu: temperatura ia valori între -73°C și 212 °C, concentrația masică ξ între 2 % și 100 %, iar presiunea între 0,1 bar și 20 bar.

Varianta A. Exponențială cu 36 coeficienți:

$$p_{Sc} = e^{\left(\sum_{i=1}^6 \xi^{6-i} \sum_{j=1}^6 q_{ij} T^{4-j} \right)} \quad (7)$$

Coeficienții q_{ij} sunt cei prezentați în tabelul 6.

Varianta B. Exponențială cu 49 coeficienți:

$$p_{Sc} = e^{\left(\sum_{i=1}^7 \xi^{6-i} \sum_{j=1}^7 r_{ij} T^{5-j} \right)} \quad (8)$$

Coeficienții r_{ij} sunt cei prezentați în tabelul 7.

Erorile medii absolute, respectiv relative de calcul cu aceste relații față de valorile citite din diagrama $h-\xi$, pentru N stări, sunt cele precizate în tabelul 10, iar repartizarea lor pe întreg domeniul reiese din fig. 28...33.

2.4. Densitatea soluției hidroamoniacale lichide la saturație

În vederea găsirii unor expresii de calcul a densității soluției hidroamoniacale am apelat la datele existente în literatura de specialitate și la o serie de funcții matematice pretabile programelor de calcul. Expresiile matematice finale, la care am ajuns, studiind comportamentul a o serie de funcții de diverse forme, sunt de formă polinomială. Aceste funcții conțin o serie coeficienți aleși, dar care se calculează pe baza datelor experimentale avute la dispoziție pentru sistemul binar apă-amoniac și pentru componenți puri (apă și amoniac).

În final propunem câte o relație de calcul de formă polinomială pentru fiecare din domeniile:

A. Temperatura ia valori între -50 °C și 150 °C, iar concentrația masică ξ între 0 % și 100 %.

B. Temperatura ia valori între -50 °C și 150 °C, iar concentrația masică ξ între 5 % și 100 %.

Pentru primul domeniu propunem o relație cu 24 de coeficienți de forma:

$$\rho_c = \sum_{i=1}^4 \xi^{4-i} \cdot \sum_{j=1}^6 r_{ij} \cdot T^{4-j} \quad (9)$$

iar pentru varianta B o relație cu 36 de coeficienți de forma:

$$\rho_c = \sum_{i=1}^6 \xi^{4-i} \cdot \sum_{j=1}^6 r_{ij} \cdot T^{4-j} \quad (10)$$

Valorile coeficienților r_{ij} se găsesc în tabelul 8., respectiv tabelul 9.

Aprecierea rezultatelor pe întreg domeniul s-a făcut comparând valorile densităților calculate cu cele deduse experimental, prin calculul erorilor medii absolute și relative, care sunt cele precizate în tabelul 10, iar repartizarea lor pe întreg domeniul reiese din fig. 34...40.

Pentru o comparare directă, în fig. 41 și 42, am suprapus pe diagrama existentă pe cea ridicată din relațiile de calcul propuse.

În figura 43 am propus o diagramă pentru determinarea volumului specific v , ridicată cu ajutorul relațiilor de calcul obținute mai sus.

3. CONCLUZII

Din analiza rezultatelor obținute reiese următoarele concluzii:

- Erorile date de calcule sunt semnificative în apropierea concentrațiilor limită, în special pentru $x < 5\%$
- Erorile date de calcule sunt semnificative și la presiuni foarte mici $p < 20$ kPa
- Erorile se datorează în mai mare măsură erorilor de citire din diagramă decât calculelor de optimizare a coeficienților.

Având în vedere domeniul mare pe care s-a definit, $0,02 < x < 1$, respectiv $0,05 < x < 1$ la calculul densității, recomandăm variantele B.

Tabelul 6

Coeficienții pentru calculul presiunii de saturație $p_s=p(T,\xi)$ varianta A						
q_{ij}	q_{1j}	q_{2j}	q_{3j}	q_{4j}	q_{5j}	q_{6j}
q_{11}	-4,8423350E-07	1,0308727E-06	-3,0231891E-07	2,6537519E-08	1,3523032E-06	8,5653429E-07
q_{12}	5,9426657E-04	-1,8467853E-03	-6,5002660E-05	4,9224916E-04	-1,4529153E-03	-1,5379358E-03
q_{13}	5,0923115E-05	6,9685326E-01	2,6567201E-01	-1,7238394E-01	4,0956155E-01	1,0664805E+00
q_{14}	-9,6055319E+01	-1,3067410E+02	-2,6133157E+00	-7,2727909E+01	6,8939834E-02	-3,3596843E+02
q_{15}	3,1313081E+04	-8,0277038E+03	1,4386476E+04	-1,7022201E-03	1,6676342E+03	5,0212201E+04
q_{16}	-3,2285568E+06	4,9946863E+06	-7,3775141E+06	5,4185260E+06	-1,8222343E+06	-3,1059985E+06

Tabelul 7

Coeficienții pentru calculul presiunii de saturație $p_s=p(T,\xi)$ varianta B							
r_{ij}	r_{1j}	r_{2j}	r_{3j}	r_{4j}	r_{5j}	r_{6j}	r_{7j}
r_{11}	4,0281931E-09	-2,203268E-09	7,894254E-10	-3,716160E-10	-1,562560E-12	1,647984E-12	0,000000E+00
r_{12}	-3,5182794E-06	3,219096E-07	-2,210114E-07	2,553815E-07	1,665707E-06	9,892131E-07	2,805536E-09
r_{13}	1,3229805E-03	-1,670972E-04	-1,503549E-05	3,429503E-04	-1,796827E-03	-1,800316E-03	-3,424679E-06
r_{14}	-2,8563225E-05	-2,501780E-04	-1,840089E-02	-5,237078E-02	5,313627E-01	1,266385E+00	1,227907E-03
r_{15}	-1,3089308E+02	-4,125224E-03	1,288951E+02	-1,137260E+02	-1,162525E+01	-4,096875E+02	3,015643E-05
r_{16}	3,9919738E+04	-2,565704E+04	3,991150E+00	-1,698035E-03	1,489344E+03	6,326647E+04	-7,168935E+01
r_{17}	-4,3197304E+06	7,587134E+06	-8,973434E+06	7,085150E+06	-2,051563E+06	-3,976019E+06	9,065921E+03

Tabelul 8

$j \ i$	r_{1j}	r_{2j}	r_{3j}	r_{4j}
1	5,4391299E-04	-1,4959600E-03	5,4397717E-04	-4,1005482E-05
2	-7,4651437E-01	1,9166144E+00	-6,9996521E-01	5,3752491E-02
3	3,7625740E+02	-9,1564059E+02	3,3821005E+02	-2,7998182E+01
4	-8,2843354E+04	1,9338073E+05	-7,3460268E+04	7,6441258E+03
5	6,7122597E+06	-1,5226222E+07	5,9893025E+06	-5,9589533E+05
6	-1,6860196E+02	-9,2203232E+01	4,5441525E+02	2,8237074E+03

Tabelul 9

$j \ i$	r_{1j}	r_{2j}	r_{3j}	r_{4j}	r_{5j}	r_{6j}
1	5,542170E-04	-1,527852E-03	5,955086E-04	-5,420814E-05	-1,140294E-07	2,599209E-07
2	-7,497719E-01	1,939519E+00	-7,487933E-01	6,698688E-02	-1,112444E-05	-3,493220E-04
3	3,749956E+02	-9,222729E+02	3,570808E+02	-3,397266E+01	2,667011E-01	1,701418E-01
4	-8,226320E+04	1,945150E+05	-7,713839E+04	9,086085E+03	-1,452314E+02	-3,587728E+01
5	6,695169E+06	-1,540774E+07	6,345276E+06	-7,521611E+05	2,146361E+04	2,762086E+03
6	-3,161965E+03	-1,506152E+03	-2,733934E+02	2,302304E+03	-1,245530E+04	1,172026E+03

Tabelul 10

Nr crt	Mărimile de stare la saturație calculate	Eroarea medie		Număr de valori
		Absolute — U.M.	Relativă %	
1.	Concentrația $\xi_c=f(T, p)$ – varianta A	0,008511 kgNH ₃ /kgsol.	1,07998	539
2.	Concentrația $\xi_c=f(T, p)$ – varianta B	0,002906 kgNH ₃ /kgsol.	0,50841	450
3.	Concentrația $\xi_c=f(T, v)$ – varianta A	0,010414 kgNH ₃ /kgsol.	2,71860	396
4.	Concentrația $\xi_c=f(T, v)$ – varianta B	0,003205 kgNH ₃ /kgsol.	0,76959	342
5.	Temperatura $T_s=f(\xi', \ln p)$	1,568731 K	0,44255	550
6.	Presiunea $p_s=f(T, \xi)$ – varianta A	3,527465 kPa	0,51920	550
7.	Presiunea $p_s=f(T, \xi)$ – varianta B	0,826254 kPa	0,23242	550
8.	Varianta A 24 de coeficienți, $0 < \xi' < 1$	3,351523 kg / m ³	0,47513	411
9.	Varianta B 36 de coeficienți, $0 < \xi' < 1$	2,302813 kg / m ³	0,33157	393

Fig. 12. Eroarea relativă la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

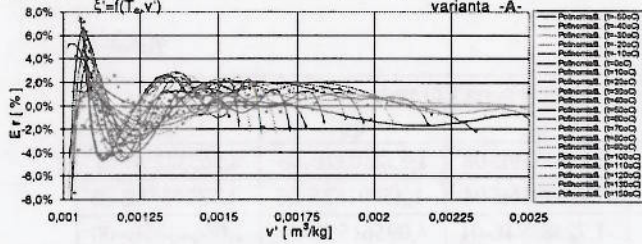


Fig. 13. Eroarea relativă la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

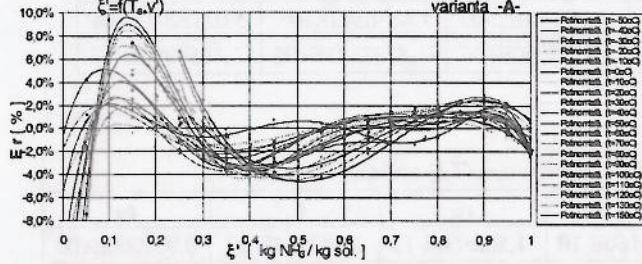


Fig. 14. Eroarea absolută la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

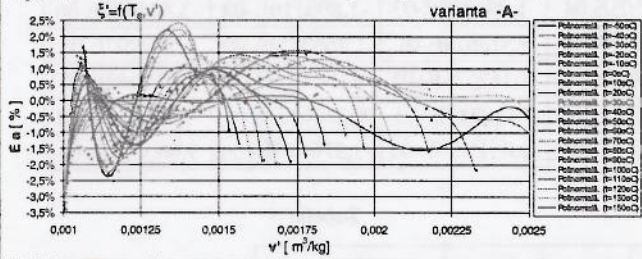
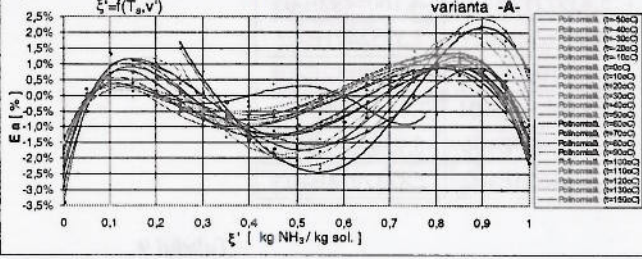
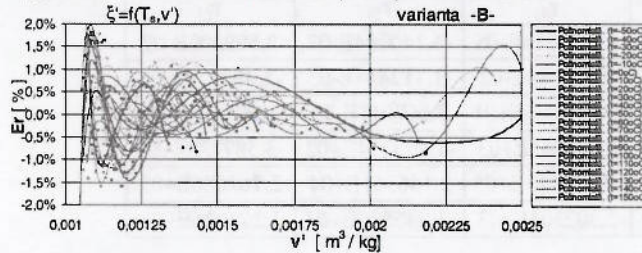


Fig. 15. Eroarea absolută la calculul concentrație soluției hidroamoniacale



16. Eroarea relativă la calculul concentrație soluției hidroamoniacale



17. Eroarea relativă la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

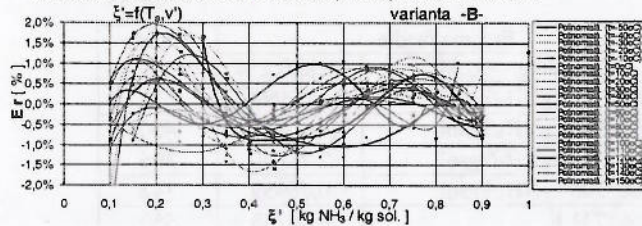


Fig. 24. TENDINȚA ERORII RELATIVE ÎN CALCULUL TEMPERATURII DE SATURAȚIE A SOLUȚIEI HIDROAMONIACALE.

Fig. 18. Eroarea absolută la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

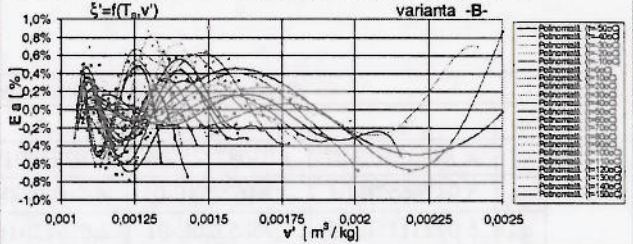


Fig. 19. Eroarea absolută la calculul concentrație soluției hidroamoniacale

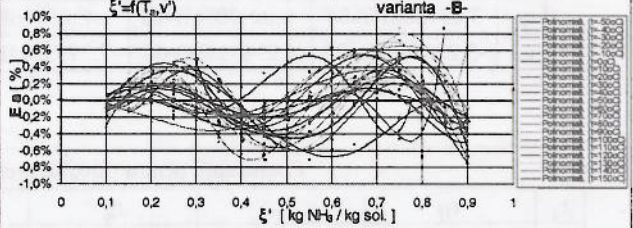


Fig. 20. TENDINȚA ERORII RELATIVE ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI SOLUȚIEI HIDROAMONIACALE LA SATURAȚIE

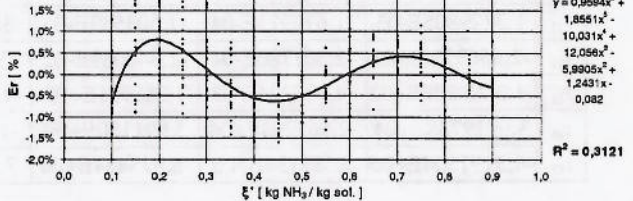


Fig. 21. TENDINȚA ERORII ABSOLUTE ÎN CALCULUL CONCENTRAȚIEI SOLUȚIEI HIDROAMONIACALE LA SATURAȚIE

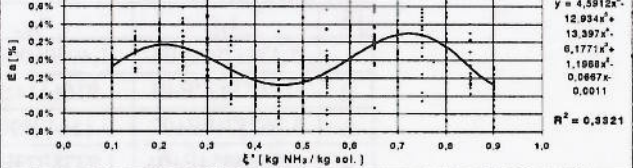


Fig. 22. EROAREA RELATIVĂ LA CALCULUL TEMPERATURII DE SATURAȚIE

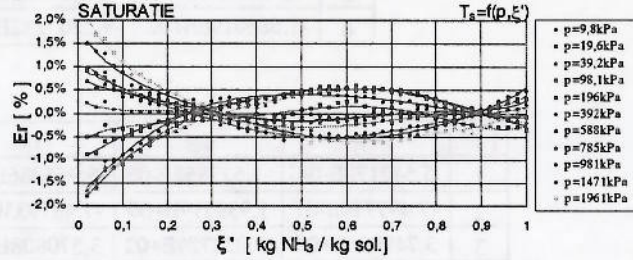
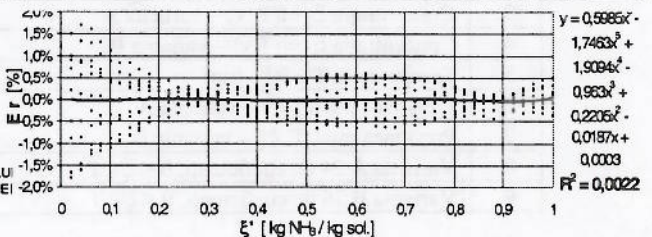
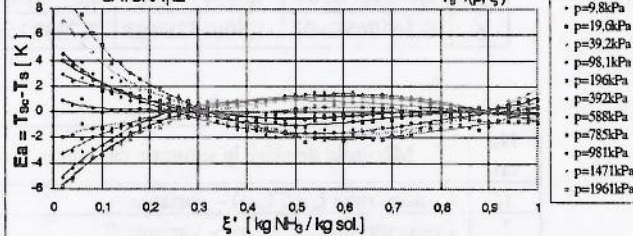
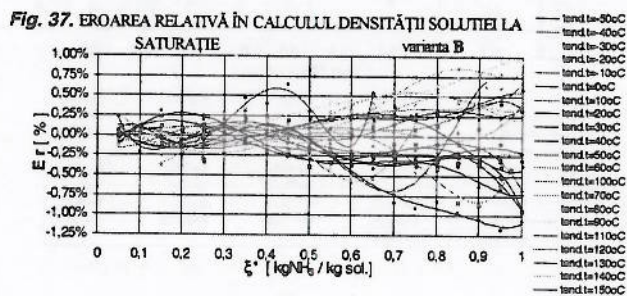
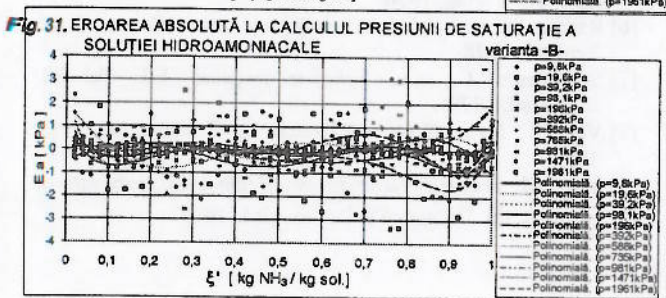
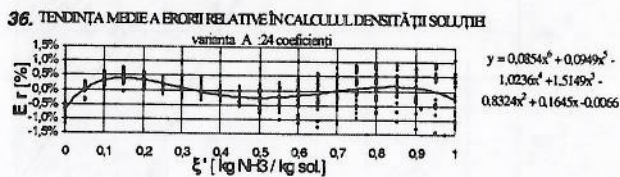
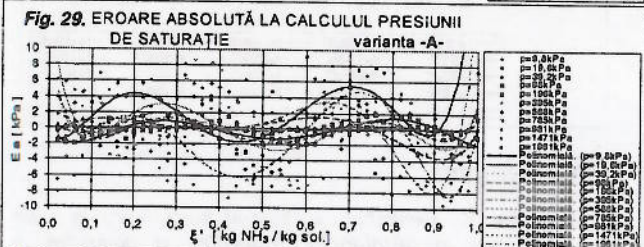
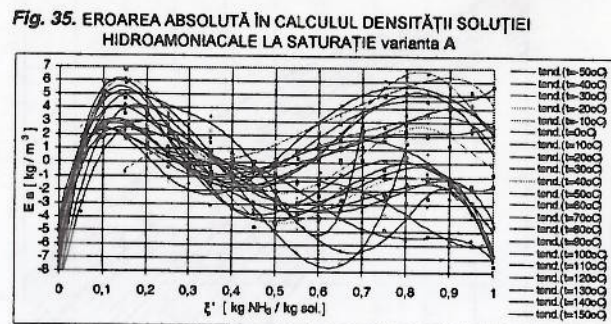
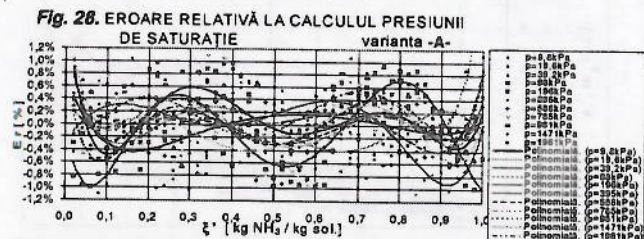
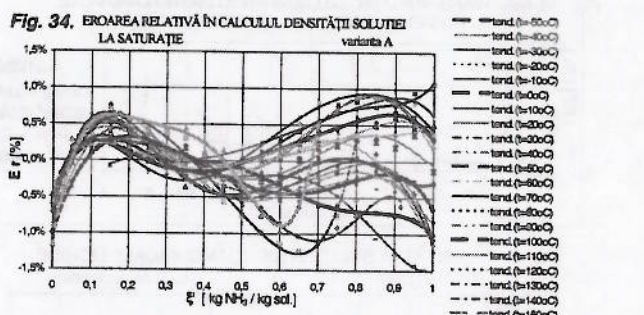
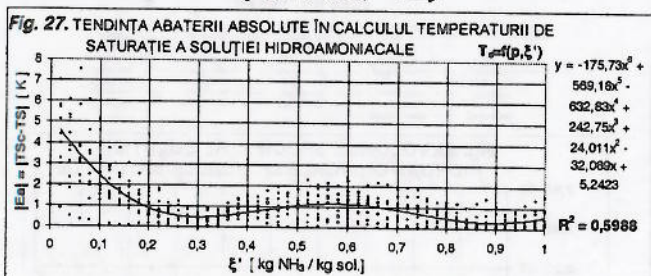
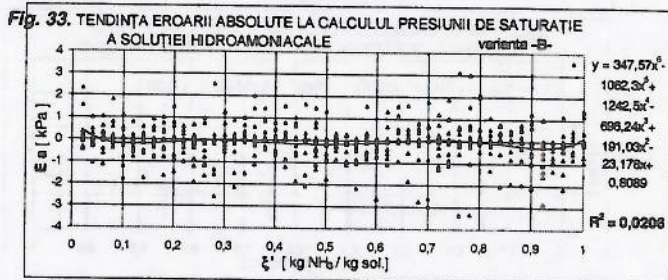
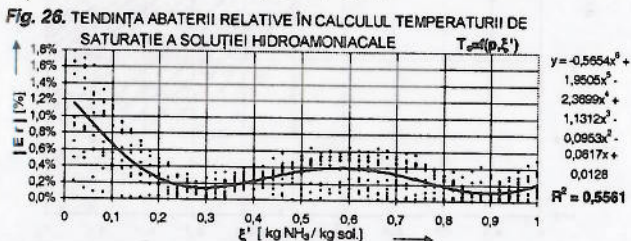
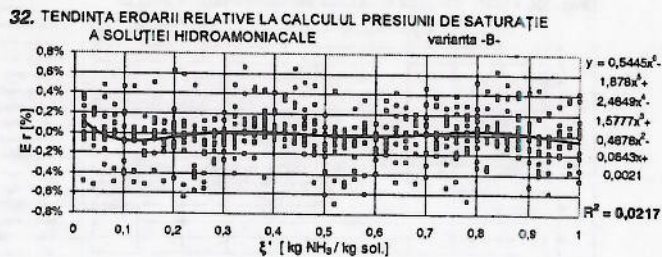
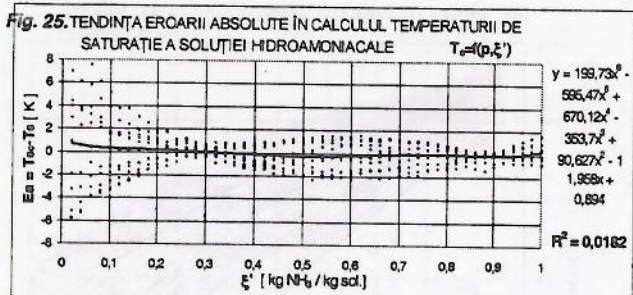
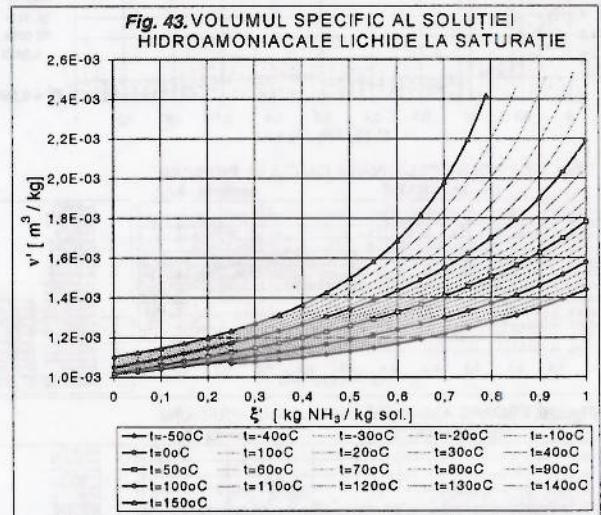
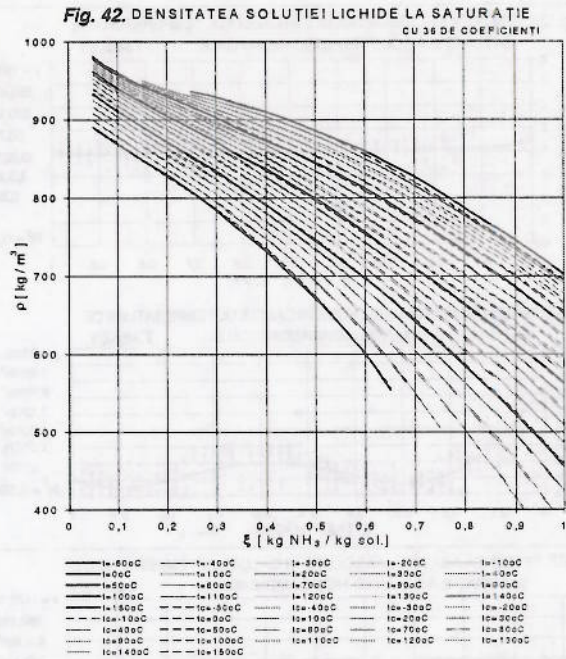
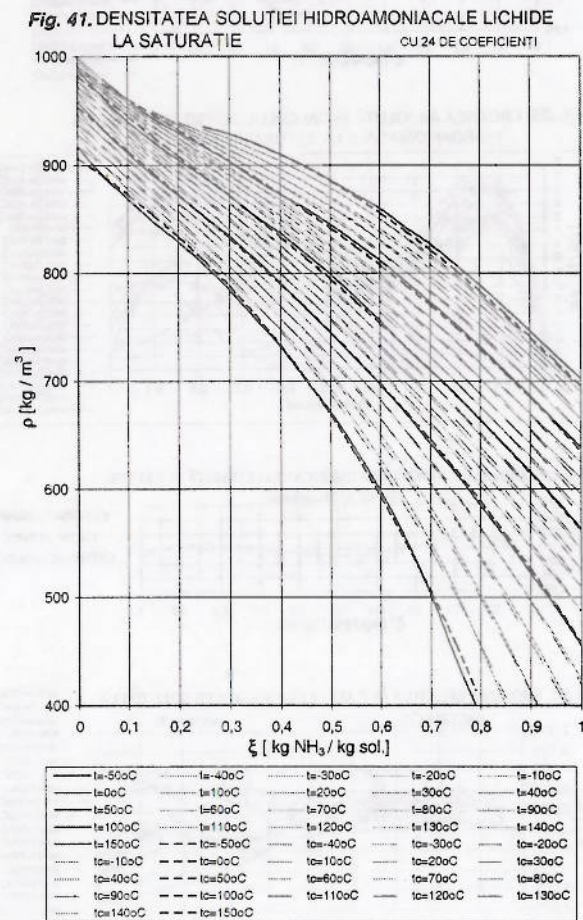
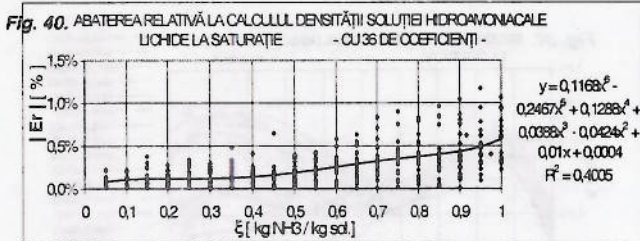
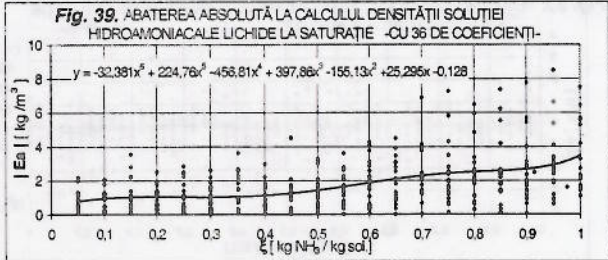
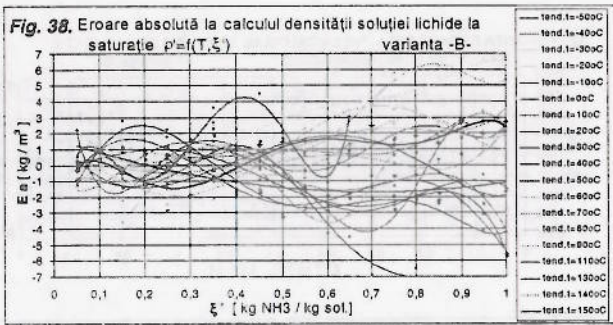


Fig. 23. EROAREA ABSOLUTĂ LA CALCULUL TEMPERATURII DE SATURAȚIE







BIBLIOGRAFIE

- [1] Gavriluc R., *Contribuții la studiul funcționării în regim nestaționar a instalațiilor frigorifice și pompelor de căldură cu absorbție în soluție hidro-amoniacală*, Univ. Tehnică de Construcții, București, 1995.
- [2] Iosifescu C., Gheorghiu C., Badea C. *Equations for properties of the NH3-H2O solution*, An. Univ. din Galați, 2 / 1984, IV, pag. 5-11.
- [3] Leca A., Prisăcaru I., *Proprietăți termofizice și termodinamice*, vol. I, II, Ed. Tehnică, București, 1994.
- [4] Petrescu S., Petrescu V., *Metode și modele în termodinamica tehnică*, Ed. Tehnică, 1988.
- [5] Plank R., *Handbuch der Kältetechnik*, vol. IV, Berlin, Springer-Verlag, 1956.
- [6] Raznjevic K., *Tabele și diagrame termodinamice*, Ed. Tehnică, 1978.
- [7] Stamatescu C., ș.a. *Tehnică frigului*, Ed. Tehnică, București, 1979.
- [8] Vilcu R., *Termodinamica chimică*, Ed. Tehnică, București, 1994.
- [9] Vlădea I., *Tratat de termodinamică tehnică și transmiterea căldurii*, Ed. Didactică și Pedagogică, 1974.